

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto

Jani Mattila

Satelliittimatkapuhelin- ja TETRA-järjestelmien yhteistoiminta

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten
Espoossa 13.6.2000

TKK Sähkö- ja
tietoliikennetekniikan kirjasto
Otakaari 5A
02150 ESPOO
04-07-2000

Työn valvoja Professori Martti Hallikainen

Martti Hallikainen

Työn ohjaaja DI Olli-Pekka Lahtinen

Olli-Pekka Lahtinen

Tekijä: Jani Mattila
Työn nimi: Satelliittimatkapuhelin- ja TETRA-järjestelmien yhteistoiminta

Päivämäärä: 13.6.2000 Sivumäärä: 89

Osasto: Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto

Professuuri: Avaruustekniikka Koodi: S-92 Avaruustekniikka

Työn valvoja: Prof. Martti Hallikainen

Työn ohjaaja: DI Olli-Pekka Lahtinen

Tiivistelmän teksti:

TETRA (TERrestrial TRunked RADio) on uusi digitaalinen ammattikäyttöön tarkoitettujen radiopuhelinverkkojen standardi. Standardi on kehitetty erityisesti viranomaisten tarpeisiin, minkä takia standardin määrittelyssä on kiinnitetty huomiota turvallisuuteen, luotettavuuteen ja monipuolisiin ryhmäkommunikaatiomahdollisuuksiin.

Satelliittimatkapuhelinjärjestelmät välittävät puhe- ja datapalveluita kaikkialle maailmaan. Puhe välitetään päätelaitteista satelliittien kautta maa-asemalle, jossa sijaitsee GSM-keskus. Tarvittaessa puhe välitetään edelleen maa-asemalta yleiseen televerkkoon. Satelliittimatkapuhelinjärjestelmät poikkeavat tekniseltä toteutukselta toisistaan.

Tässä työssä tutkitaan satelliittimatkapuhelinjärjestelmien hyödyntämistä TETRA-standardin mukaisten järjestelmien tukena. Satelliittimatkapuhelinjärjestelmä mahdollistaisi ainakin tiettyjen peruspalveluiden käyttämisen missä tahansa. Toisaalta satelliittijärjestelmä voi tarjota myös sellaisia palveluita, mitä TETRA-standardissa ei ole määritelty.

Työssä selvitetään satelliittimatkapuhelinjärjestelmien tärkeimmät ominaisuudet. Tämän perusteella etsitään erilaisia satelliittimatkapuhelin- ja TETRA-järjestelmien yhteistoimintamahdollisuuksia. Löydettyjä yhteistoimintavaihtoehtoja verrataan toisiinsa palveluvalikoiman, palveluiden laadun ja vaadittavien muutosten suhteen.

Viranomaiskäyttäjät tarvitsevat laajan palveluvalikoiman, joka voidaan välittää satelliittien kautta esimerkiksi käyttämällä TETRA-ilmarajapintaa tai muokkaamalla IP-puheprotokollaa TETRA-palveluiden mukaisiksi. Molemmat vaihtoehdot vaativat järjestelmiin suuria muutoksia. Siviilikäyttäjille riittää suppeampi palveluvalikoima, jolloin järjestelmien yhteenliittäminen esimerkiksi GSM-standardin mukaisen A-rajapinnan kautta onnistuu pienemmillä muutoksilla.

Avainsanat:
TETRA, satelliittimatkapuhelinjärjestelmä

Author: Jani Mattila
Name of the Thesis: Interworking of Mobile Satellite and TETRA Systems

Date: 13.6.2000 Number of pages: 89

Department of Electrical and Communications Engineering

Professorship: Space Technology Code: S-92 Space Technology

Supervisor: Prof. Martti Hallikainen

Instructor: Olli-Pekka Lahtinen, M.Sc.

TETRA (TErrestrial Trunked RAdio) is a new digital radio system standard for professional use. The standard was developed especially for public safety and security authorities, with focus on safety, reliability and versatile group communications in the standardisation process.

Mobile satellite systems provide voice and data services all over the world. Voice is transmitted from mobile terminals to an earth station via satellites. The earth station contains a GSM exchange. If needed, voice calls are forwarded to the public switched telephone network. The technical solutions in mobile satellite systems differ from one another.

The purpose of this Master's Thesis is to study how mobile satellite systems could be used as a complement to TETRA systems. A mobile satellite system could provide at least a set of basic services that could be used anywhere. On the other hand, a mobile satellite system could also provide services that are not found in the TETRA standard.

The most important features of mobile satellite systems are studied in the thesis. This information is the basis for finding different solutions for interworking between mobile satellite and TETRA systems. The solutions for systems interworking are compared with the criteria of provided services, quality of the services and estimated work amount for the changes needed to the systems.

Authority users need a broad set of services, which can be provided via satellites by using the TETRA air interface or by modifying the IP voice protocol to transfer TETRA services. Both solutions require major changes in the systems. For civil users, a narrower set of services is sufficient, and the interworking between systems can be implemented e.g. by using the GSM standard's A interface with less changes to the systems.

Keywords:
TETRA, mobile satellite system

Alkulause

Tämä diplomityö on tehty Nokia Networks Oy:n Professional Mobile Radio -yksikössä, jossa kehitetään Nokian TETRA-järjestelmää (Nokia TETRA System).

Diplomityön tekeminen sattui hyvin vaiherikkaaseen aikaan satelliittimatkapuhelinjärjestelmien kehityksessä. Ensimmäinen satelliittimatkapuhelinjärjestelmä Iridium oli aloittanut toimintansa edellisenä vuonna ja ensimmäiset merkit talousvaikeuksista tulivat julki diplomityön aloittamisen aikoihin. ICO-järjestelmän rakentamiseksi tarvittava alkupääoma ei ollut vielä koossa ja Iridiumin vaikeudet karkottivat myös ICO-järjestelmän potentiaaliset sijoittajat. Iridium ja ICO hakivat suojaa velkojiltaan hakeutumalla taloudelliseen selvitystilaan elokuussa 1999. Kolmas järjestelmä, Globalstar, ei ollut tuolloin vielä valmistunut. Alkoi näyttää siltä, että diplomityötä ei voi tehdä satelliittimatkapuhelinjärjestelmistä, koska sellaisia ei ole kohta enää olemassa.

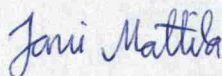
Monien vaiheiden jälkeen satelliittimatkapuhelinjärjestelmien tulevaisuus alkoi näyttää valoisammalta: Globalstar-järjestelmä aloitti toimintansa ja ICO-järjestelmä sai uuden vahvan omistajan. Löysin lähdemateriaalia loppujen lopuksi riittävästi, jotta pystyin tutkimaan satelliittimatkapuhelin- ja TETRA-järjestelmien yhteistoimintaa. Vielä tälläkin hetkellä on vaikea enustaa, miten satelliittimatkapuhelinjärjestelmille tulee käymään. ICO-järjestelmän suunnitelmat muuttuivat ratkaisevasti uuden omistuksen myötä, mutta uusista suunnitelmista ei ole julkaistu toistaiseksi tarkkoja tietoja. Näin ollen jouduin käyttämään ICO-järjestelmästä osin ehkä vanhentuneita tietoja.

Kun diplomityön tekeminen osoittautui muun muassa lähdemateriaalin puutteen vuoksi odotettua haastavammaksi, ei työ olisi valmistunut tällä aikataululla ilman aluepäällikkö Heikki Salovuoren ja osastopäällikkö Olli Kinnusen tukea. Työn valvojana toimi professori Martti Hallikainen, jota haluan kiittää hyvistä neuvoista ja joustavuudesta. Korvaamaton apu oli diplomityön ohjaaja Olli-Pekka Lahtinen, joka neuvoi, ideoi ja kannusti koko työn tekemisen ajan.

Haluan kiittää myös seuraavia henkilöitä: Jarkko Itkonen toimi satelliittijärjestelmien asiantuntijana, Pekka Somervuo auttoi radiotekniikkaan liittyvissä asioissa ja Tapio Savunen opasti VoIP- ja GPRS-tekniikoiden saloihin. Kaikki osastollani työskentelevät loivat miellyttävän ja kannustavan työilmapiirin sekä auttoivat tarvittaessa.

Suurimmat kiitokset haluan lausua rakkaalle vaimolleni Hannalle, joka jaksoi tukea työn kiireisimpinäkin hetkinä.

13. kesäkuuta, 2000



Jani Mattila

Sisällysluettelo

ALKULAUSE	I
SISÄLLYSLUETTELO.....	II
SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO	IV
1. JOHDANTO	1
2. TETRA	3
2.1 Markkinat.....	4
2.2 Käyttäjien vaatimukset ja TETRA.....	5
2.3 V+D	8
2.4 Palvelut	8
2.4.1 Ryhmäpuhelu.....	10
2.5 DMO	12
2.6 Standardirajapinnat	12
2.6.1 Ilmarajapinta	14
2.7 Erot muihin järjestelmiin	17
2.7.1 Perinteiset PMR-järjestelmät.....	17
2.7.2 Matkapuhelinjärjestelmät	17
2.8 Nokia TETRA System.....	17
3. GSM JA GPRS	20
3.1 GSM-standardi ja sen kehittäminen.....	20
3.2 GSM-tekniikka	20
3.3 Järjestelmäkomponentit	21
3.3.1 Verkkoalijärjestelmä	21
3.3.2 Radioalijärjestelmä.....	23
3.3.3 Käytönohjausali-järjestelmä	24
3.4 Rajapinnat	24
3.5 Palvelut	25
3.5.1 Ryhmäpuhelu.....	25
3.6 Matkaviestimen tunnistaminen, puhelunmuodostus ja sijaintitiedon päivitys	26
3.7 Verkkovierailu	28
3.8 Merkinantoprotokolla-arkkitehtuuri	29
3.9 Satelliittimatkapuhelinjärjestelmät ja GSM.....	31
3.10 GPRS	31
4. SATELLIITTIJÄRJESTELMÄT GLOBALSTAR JA ICO.....	34
4.1 Satelliittisegmentti	36
4.2 Käyttäjäsegmentti	41
4.2.1 Ilmarajapinta satelliitin ja päätelaitteiden välillä.....	41
4.2.2 Päätelaitteet	44
4.2.3 Järjestelmien tarjoamat palvelut	47
4.3 Maasegmentti.....	47

5. TETRA:N JA SATELLIITTIJÄRJESTELMÄN PALVELUT	52
6. YHTEENLIITTYMISVAIHTOEHDOT.....	55
6.1 Yleisen televerkon tyyppinen liitäntä	55
6.2 Vaihde- ja MAP-liitännät	57
6.3 TETRA:n liittäminen maa-aseman GSM-keskukseen tukiasemaohjaimena.....	59
6.4 TETRA:n liittäminen satelliittiverkkoon maa-aseman GSM-keskuksena	61
6.5 TETRA satelliittijärjestelmän alimpien protokollakerrosten päällä	63
6.6 TETRA-ilmarajapinta satelliittijärjestelmän välityksellä	65
6.7 IP-pakettien välitys satelliittiverkon yli.....	70
6.7.1 GPRS:n hyödyntäminen IP-pakettien välityksessä	71
6.8 Bluetooth.....	74
7. LIITTYMISVAIHTOEHTOJEN VERTAILU	77
8. JOHTOPÄÄTÖKSET	84
9. LÄHDELUETTELO.....	86

Symboli- ja lyhenneluettelo

ACELP	<i>Algebraic Code-Excited Linear Prediction</i> , digitaalisen puheen pakkaamiseen käytetty koodekki
AI	<i>Air Interface</i> , TETRA-standardin ilmarajapinta
AMPS	<i>Advanced Mobile Phone Service</i> , amerikkalainen analoginen matkapuhelinjärjestelmä
AUC	<i>Authentication Center</i> , GSM-standardin tunnistuskeskus
BG	<i>Border Gateway</i> , GPRS-standardin verkkoelementti, joka vastaa turvallisuustoiminnoista kahden itsenäisen GPRS-verkon välillä
BSC	<i>Base Station Controller</i> , GSM-standardin tukiasemaohjain
BSS	<i>Base Station Subsystem</i> , GSM-standardin tukiasema-alijärjestelmä, jonka muodostavat tukiasemaohjain (BSC) ja tukiasemat (BTS)
BSSAP	<i>Base Station System Application Part</i> , GSM-standardin yhteyskäytäntö, johon kuuluu BSSMAP ja DTAP yhteyskäytännöt
BSSMAP	<i>Base Station System Management Application Part</i> , GSM-standardin tukiasemajärjestelmän sovellusosa. Yhteyksikäytäntö, joka vastaa radioresurssien hallinnasta keskuksien välisen kanavanvaihdon yhteydessä sekä puheluihin liittyvän informaation tulkinnasta ja käsittelystä
BTS	<i>Base Transceiver Station</i> , GSM-standardin tukiasema
BTSM	<i>Base Transceiver Station Management</i> , GSM-standardin tukiaseman hallinnan yhteyskäytäntö, joka välittää ohjausinformaatiota tukiasemaohjaimen ja tukiaseman välillä
CC	<i>Call Control</i> , puhelunohjaus
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i> , koodijakoinen multipleksointi
CEPT	<i>Conference of European Postal and Telecommunications administrations</i> , Euroopan posti- ja telehallintojen neuvottelukunta
CM	<i>Connection Management</i> , yhteydenhallinta, joka välittää puheluihin, lyhytsanomiin ja lisäpalveluihin liittyvät sanomat
CMCE	<i>Circuit Mode Control Entity</i> , TETRA-standardin piirikytkentäisten palveluiden yhteyskäytäntö

D-AMPS	<i>Digital Advanced Mobile Phone Service</i> , amerikkalainen digitaalinen matkapuhelinjärjestelmä
DLL	<i>Data Link Layer</i> , TETRA-standardin protokollapinon toinen kerros eli siirtoyhteyskerros
DMO	<i>Direct Mode Operation</i> , suora toimintatila, jossa käyttäjät voivat kommunikoida keskenään ilman verkkoa
DQPSK	<i>Differential Quarternary Phase Shift Keying</i> , differentiaaliseen vaiheensiirtoon perustuva modulaatiomenetelmä
DST	<i>Dispatcher System for TETRA</i> , Nokian TETRA-järjestelmän käyttöpaikka
DTAP	<i>Direct Transfer Application Part</i> , GSM-standardin suorasiirto-osa. Yhteyskäytäntö, joka vastaa merkinannosta matkaviestimen ja keskuksen välillä
DXT	<i>Digital eXchange for TETRA</i> , Nokian TETRA-järjestelmän digitaalinen keskus
EIR	<i>Equipment Identity Register</i> , GSM-standardin laitetunnusrekisteri
ETSI	<i>European Telecommunications Standardisation Institute</i> , Euroopan telealan standardointi-instituutti
FDMA	<i>Frequency Division Multiple Access</i> , taajuusjakoinen multipleksointi
GCR	<i>Group Call Register</i> , GSM-järjestelmän ryhmäpuhelussa (VGCS) tarvittava ryhmäpuhelurekisteri
GEO	<i>Geosynchronous Earth Orbit</i> , geostationäärinen satelliittirata 35 786 kilometrin korkeudella, radalla oleva satelliitti pysyy maahan nähden paikoillaan
GGSN	<i>Gateway GPRS Support Node</i> , GPRS-standardin verkkoelementti, joka vastaa liittynnöistä ulkoisiin dataverkkoihin
GMSC	<i>Gateway Mobile services Switching Center</i> , GSM-standardin kauttakulkukeskukseksi toimiva matkapuhelinkeskus, joka vastaa GSM-verkon liitännöistä muihin verkkoihin ja mm. tulevien puheluiden reitityksestä
GMSK	<i>Gaussian Minimum Shift Keying</i> , vaiheensiirtoon ja Gaussin käyrän -tyyppiseen suodattimeen perustuva modulaatiomenetelmä
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i> , GSM-standardiin kuuluva pakettikytkentäinen datanvälityspalvelu
GPS	<i>Global Positioning System</i> , amerikkalainen sotilaallinen ja kaupallinen satelliittipaikannusjärjestelmä

GSM	<i>Global System for Mobile communications</i> , ETSI:n standardoima digitaalinen matkapuhelinjärjestelmä
GTP	<i>GPRS Tunneling Protocol</i> , GSM-standardiin kuuluvan GPRS-datanvälityspalvelun yhteyskäytäntö kahden GSN-verkkoelementin välillä
GTSI	<i>Group TETRA Subscriber Identity</i> , TETRA-standardin ryhmätunnus
H.323	pakettikytkentäisessä verkossa puheen, videokuvan ja multimedian välittämiseen käytettävä protokolla
HLR	<i>Home Location Register</i> , GSM-standardin kotirekisteri
IMEI	<i>International Mobile Equipment Identity</i> , GSM-standardin kansainvälinen matkaviestimen laitetunnus
IMSI	<i>International Mobile Subscriber Identity</i> , GSM-standardin kansainvälinen matkaviestintilaajan tunnus
IN	<i>Intelligent Network</i> , älyverkko, joka helpottaa uusien palveluiden ja ominaisuuksien toteuttamista televerkkoon
IP	<i>Internet Protocol</i> , yhteydetön pakettikytkentäinen datanvälityspankollalla
IS-95	amerikkalainen CDMA-tekniikkaan perustuva matkapuhelinjärjestelmä
ISDN	<i>Integrated Services Digital Network</i> , digitaalinen monipalveluverkko
ISI	<i>Inter-System Interface</i> , TETRA-standardin järjestelmärajapinta
ISO	<i>International Standardisation Organisation</i> , kansainvälinen standardointiorganisaatio
ITSI	<i>Individual TETRA Subscriber Identity</i> , TETRA-standardin yksilötunnus
ITU	<i>International Telecommunications Union</i> , kansainvälinen telealan standardointiorganisaatio
LA	<i>Location Area</i> , tilaajan sijaintialue
LAPD	<i>Link Access Protocol for D channel</i> , GSM-standardin D-kanavan siirtoyhteysproseduuri. Yhteyskäytäntö, joka takaa luotettavan merkinantosanomien siirron tukiasemaohjaimen ja tukiaseman välillä
LAPDm	<i>Link Access Protocol for Dm channel</i> , GSM-standardin mukainen Dm-kanavan siirtoyhteysproseduuri merkinantosanomien siirtoon tukiaseman ja matkaviestimen välille

LEO	<i>Low Earth Orbit</i> , matala satelliittirata, jonka korkeus maanpinnasta on muutaman sadan ja 2 000 kilometrin välillä
LLC	<i>Logical Link Control</i> , TETRA-standardin yhteyskäytäntö, joka ohjaa loogista siirtotietä
MAC	<i>Medium Access Control</i> , yhteyskäytäntö siirtokanavan saantimenettelyn ohjaukseen
MAP	<i>Mobile Application Part</i> , GSM-standardin matkapuhelinosa, yhteyskäytäntö eli protokolla, joka välittää merkinantosanomia
MEO	<i>Medium Earth Orbit</i> , keskikorkea satelliittirata, jonka korkeus maanpinnalta on noin 10 000 kilometriä
MLE	<i>Mobile/base Link control Entity</i> , TETRA-standardin yhteyskäytäntö päätelaitteen ja verkon välillä
MM	<i>Mobility Management</i> , tilaajien liikkuvuuden hallinta
MoU	<i>Memorandum of Understanding</i> , järjestelmän kehittämiseksi ja edistämiseksi perustettu valmistajien, operaattoreiden ja käyttäjäorganisaatioiden yhteistyöelin
MS	<i>Mobile Station</i> , GSM-standardin matkaviestin
MSC	<i>Mobile services Switching Center</i> , GSM-standardin matkapuhelinkeskus
MSISDN	<i>Mobile Station ISDN</i> , GSM-standardin matkaviestintilaajan kansainvälinen ISDN-numero (ks. ISDN)
MSS	<i>Mobile Satellite System</i> , satelliittimatkapuhelinjärjestelmä
MTP	<i>Message Transfer Part</i> , GSM-standardin sanomansiirto-osa. Yhteyksikäytäntö, joka vastaa merkinantosanomien välityksestä ja reitityksestä
NMC	<i>Network Management Center</i> , verkonhallintakeskus
OMC	<i>Operation and Maintenance Center</i> , käytönohjauskeskus
OSI	<i>Open System Interface</i> , ISO:n määrittelemä avointen järjestelmien yhteenliittämismalli
PABX	<i>Private Access Branch eXchange</i> , yksityinen puhelinvaihde
PC	<i>Professional Cellular</i> , siviiliorganisaatioiden ammattikäyttäjistä koostuva käyttäjäsegmentti

PCM	<i>Pulse Code Modulation</i> , pulssikoodimodulaatio, jossa puheesta otetaan näytteitä ja näytteet kvantisoidaan ja koodataan digitaalisiksi signaaliksi
PD	<i>Packet Data</i> , TETRA-standardin pakettidatapalvelua tarjoava yhteyskäytäntö
PDN	<i>Public Data Network</i> , yleinen dataverkko
PDO	<i>Packet Data Optimised</i> , TETRA-standardin pakettidataoptimoitu verkkotyyppi, joka tukee ainoastaan datan välittämistä verkossa
PEI	<i>Peripheral Equipment Interface</i> , TETRA-standardin päätelaiterajapinta
PIN	<i>Personal Identification Number</i> , henkilökohtainen tunnusluku, jolla käyttäjä tunnistetaan
PMR	<i>Professional Mobile Radio</i> , ammattikäyttöön suunniteltu radiopuhelinjärjestelmä
POC	<i>Pseudo Open Channel</i> , TETRA-standardin viestikanavapuhelu, jossa käyttäjä painaa päätelaitteen tangenttia kun haluaa puhua tietylle ryhmälle. Viestikanavapuhelu näyttää käyttäjälle siltä, kuin kanava olisi aina auki, sillä käyttäjän ei tarvitse huolehtia puhelunmuodostuksesta.
PRA	<i>Primary Rate Access</i> , ISDN-vaihdeliittymä, joka välittää 30 puhekanavaa ja merkinantokanavan käyttäen 2 Mbit/s siirtonopeutta
PSS	<i>Public Safety and Security</i> , pelastus- ja turvallisuusalan viranomaisten muodostama käyttäjäsegmentti
PSTN	<i>Public Switched Telephone Network</i> , yleinen televerkko
QPSK	<i>Quarternary Phase Shift Keying</i> , vaiheensiirtoon perustuva modulaatiomenetelmä
RR	<i>Radio Resource management</i> , GSM-standardin radioresurssien hallintaan liittyvä yhteyskäytäntö
SCC	<i>Satellite Steering Committee</i> , GSM Associationsin komitea, joka tutkii GSM:n ja satelliittimatkapuhelinjärjestelmien yhteistoimintaa
SCCP	<i>Signalling Connection Control Part</i> , GSM-standardin merkinantoyhteyden ohjausosa. Yhteyskäytäntö, joka tarjoaa merkinantosanomien osoite- ja reitityspalvelun
SGSN	<i>Serving GPRS Support Node</i> , GPRS-standardin verkkoelementti, joka vastaa esimerkiksi tilaajien liikkuvuuden hallinnasta, tunnistuksesta ja pakettien välityksestä matkaviestimeen (MS)

SIM	<i>Subscriber Identity Module</i> , GSM-standardin tilaajan tunnistusyksikkö eli SIM-kortti, korttia voidaan käyttää myös muissa matkapuhelinjärjestelmissä
SIP	<i>Session Initiation Protocol</i> , pakettikytkentäisen verkon puheen ja multimedian välittämiseen käytettävä protokolla
SMS	<i>Short Message Service</i> , GSM-standardin lyhytsanoma eli tekstiviesti
SS	<i>Supplementary Services</i> , lisäpalvelut
SwMI	<i>Switching and Management Infrastructure</i> , TETRA-standardissa määrittelemätön verkon infrastruktuuri, joka yleensä koostuu valmistajakohtaisista keskuksista ja tukiasemista
TBS	<i>TETRA Base Station</i> , Nokian TETRA-järjestelmän tukiasema
TC	<i>TransCoder</i> , GSM-standardin transkooderi, joka toimii koodausmuuntimena eri puhekoodausmenetelmien välillä
TCP/IP	<i>Transport Control Protocol / Internet Protocol</i> , pakettikytkentäinen datanvälitysprotokolla, jota käytetään esimerkiksi Internetissä
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i> , aikajakoinen multipleksointi
TETRA	<i>TErrestrial TRunked RAdio</i> , ETSI:n standardoima digitaalinen, erityisesti viranomaiskäyttöön suunniteltu radiopuhelinjärjestelmä
THR	<i>TETRA Hand-held Radio</i> , Nokian TETRA-järjestelmän käsiradio
TMR	<i>TETRA Mobile Radio</i> , Nokian TETRA-järjestelmän ajoneuvoradio
TMSI	<i>Temporary Mobile Subscriber Identity</i> , GSM-standardin matkaviestintilaajan tilapäinen tunnus
VGCS	<i>Voice Group Call Service</i> , GSM-järjestelmän ryhmäpuhelupalvelu
VLR	<i>Visitor Location Register</i> , GSM-standardin vierailijarekisteri
VoIP	<i>Voice over IP</i> , IP-verkossa tapahtuva puheen välitys
V+D	<i>Voice plus Data</i> , TETRA-standardin verkkotyyppi, joka tukee sekä puheen että datan välittämistä verkossa
VPN	<i>Virtual Private Network</i> , eri organisaatioiden virtuaalinen verkko; yhdessä fyysisessä verkossa voi olla useita virtuaalisia verkkoja

1. JOHDANTO

Satelliittimatkapuhelinjärjestelmät mahdollistavat satelliittien avulla puhe- ja datapalveluiden käyttämisen matkapuhelimella kaikkialla maailmassa. Ensimmäinen satelliittimatkapuhelinjärjestelmä oli vuonna 1998 aloittanut Iridium, mutta se meni konkurssiin vuonna 2000. Tänä vuonna käynnisti toimintansa Globalstar-järjestelmä ja vuonna 2002 pitäisi ICO-järjestelmän valmistua. Satelliittimatkapuhelinjärjestelmät eivät ole saaneet asiakkaita odotetulla tavalla, mikä on aiheuttanut järjestelmille taloudellisia vaikeuksia. Järjestelmistä ei ole saatavilla paljon tietoa, koska järjestelmät ovat vasta aloittaneet tai niiden suunnittelu on vielä kesken. Myös järjestelmien taloudellinen tilanne vaikeuttaa tietojen hankkimista.

TETRA (TERrestrial TRunked RADio) on uusi ammattikäyttöön tarkoitettujen radiopuhelinverkkojen standardi. TETRA-standardin mukaisten palveluiden kuten monipuolisen ryhmäpuhelun, suorapuhelun päätelaitteesta toiseen ilman verkkoa ja päivystäjätoimintojen toteuttaminen nykyisissä matkapuhelinjärjestelmissä olisi vaikeaa. TETRA-järjestelmien asiakaskunta koostuu viranomaisista kuten poliisi- ja pelastustoimen edustajista sekä ammatissaan erillisverkkoa käyttävistä siviiliorganisaatioista, esimerkiksi kuljetus- ja energia-alan yrityksistä.

Työssä tutkitaan, miten satelliittimatkapuhelinjärjestelmät toimivat ja voisiko niitä hyödyntää TETRA-järjestelmien tukena.

TETRA-järjestelmien peittoalueen on varsinkin viranomaiskäytössä oltava aukoton viranomaisten toiminta-alueella, mutta TETRA-tukiasemaverkon rakentaminen harvaan asutuille alueille voi olla kallista. Satelliittimatkapuhelinjärjestelmän käyttäminen tällaisilla alueille voisi olla halvempaa kuin maanpäällisen TETRA-verkon rakentaminen. TETRA-verkon rakentaminen laajoille alueille vie oman aikansa ja satelliittijärjestelmän välityksellä voisi tarjota verkon käyttäjille palveluita alueilla, missä TETRA-verkko ei ole vielä valmistunut. Tämä nopeuttaisi verkon käyttöönottoa.

Satelliittimatkapuhelinjärjestelmän kautta ei välttämättä pystytä välittämään kaikkia TETRA-järjestelmän palveluita. TETRA-verkon käyttäjille saattaa riittää, että TETRA-verkon ulkopuolella on käytettävissä edes peruspalvelut kuten yksilöpuhelu ja lyhytsanomat. Toisaalta satelliittimatkapuhelinjärjestelmä saattaa tarjota palveluita, joita TETRA-järjestelmässä ei ole olemassa. Tällöin satelliittimatkapuhelinjärjestelmää kannattaisi käyttää myös TETRA-verkon peittoalueella.

Kappaleissa 2, 3 ja 4 kuvataan työssä käsiteltävien järjestelmien toiminta standardien ja järjestelmävalmistajien materiaalien perusteella. Kappaleessa 5 verrataan TETRA- ja satelliittimatkapuhelinjärjestelmien palveluita keskenään ja pohditaan erityisesti ryhmäpuheluiden eroja sekä ryhmäpuhelun toteuttamista satelliittimatkapuhelinjärjestelmään. Kappaleessa 6 kuvataan työssä löydetty TETRA- ja satelliittimatkapuhelinjärjestelmien yhteenliittymisvaihtoehdot ja vaihtoehtojen toteuttamisen edellyttämät muutokset järjestelmiin. Kappaleessa 7 verrataan löydettyjä vaihtoehtoja toisiinsa eri kriteereillä ja pohditaan, mitä etuja eri vaihtoehtojilla saavutetaan. Työn johtopäätökset ovat kappaleessa 8.

2. TETRA

Tässä kappaleessa esitellään TETRA-standardin tärkeimmät ominaisuudet, palvelut ja rajapinnat. TETRA-järjestelmän käyttäjäryhmät ja heidän käyttötarpeensa on hyvä ymmärtää eri palveluiden merkitystä arvioidessa, joten ne selvitetään tarkasti. TETRA-standardin erot muihin järjestelmiin kuvataan lopussa ja esimerkkinä toteutuksesta kerrotaan Nokian järjestelmän kokoonpano.

Euroopan telealan standardointi-instituutti ETSI (European Telecommunications Standardisation Institute) aloitti vuonna 1988 uuden digitaalisen radiopuhelinstandardin suunnittelun erityisesti viranomaisten tarpeisiin. Standardin nimeksi tuli Trans-European Trunked RAdio eli TETRA, mutta Euroopan ulkopuolisesta kiinnostuksesta johtuen nimeksi muutettiin TERrestrial Trunked RAdio.



Kuva 1: TETRA-järjestelmän logo [Tet00].

Ammattikäyttöön suunniteltuja radiopuhelinjärjestelmiä kutsutaan PMR (Professional Mobile Radio) -järjestelmiksi. Aikaisemmin järjestelmät olivat ei-standardeja ja siksi valmistajakohtaisia. Järjestelmän valittuaan asiakas oli sitoutunut yhteen valmistajaan, mikä kilpailun puuttuessa nosti hintoja. Osa analogisista järjestelmistä perustui Ison-Britannian kansalliseen MPT1327-standardiin [Ets00], mutta suurin osa oli täysin valmistajakohtaisia järjestelmiä.

Viranomaiset ovat yksi PMR-järjestelmien suuri käyttäjäryhmä. Euroopan mailla on käytössä hyvin monia järjestelmiä, jotka eivät toimi yhdessä. Maan sisälläkin eri viranomaisilla on ollut käytössä erilaisia verkkoja. Euroopan Unionin Schengen-sopimuksessa on sovittu, että allekirjoittajamaiden viranomaisten on kyettävä kommunikoidaan toistensa kanssa maasta riippumatta. Tulevaisuuden viranomaisverkoissa kommunikointi ei saa siis katketa maiden välisiin rajoihin, vaan järjestelmien on toimittava yhteen. Tämä vaatii yhteistä standardia.

Yhteisen standardin luomisessa edellytys on Euroopan laajuinen yhteinen taajuuskaista, jossa viranomaisverkot toimivat. Sotilasliitto NATO:n vapautettua yhden taajuuskaistansa (380 - 400 MHz), määritettiin tämä kaikissa maissa vain viranomaisten käyttöön [Gra00].

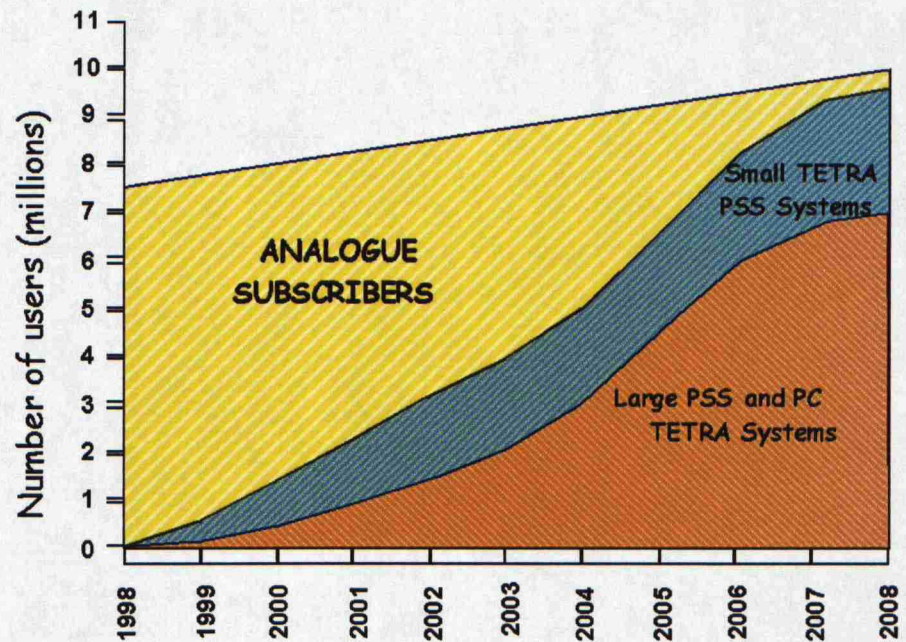
Monien Euroopan maiden viranomaisverkot ovat jo 20 vuotta vanhoja ja laitteiden ylläpito kallistuu, koska vanhat laitteet vaativat useammin korjauksia. Analogiset järjestelmät eivät myöskään käytä taajuuskaistaa yhtä tehokkaasti kuin uudet digitaaliset järjestelmät. Suuri osa maista on lähiaikoina uusimassa viranomaisverkonsa, joten standardoidulle järjestelmälle on kysyntää.

TETRA-standardia suunniteltaessa oli tärkeää avoimen ja laajan standardin kehittäminen. Yhtenä kannustimena standardointityössä oli toisen standardin, GSM:n (Global System for Mobile communications) voittokulku. TETRA:n kehitystyöhön osallistuivat valmistajien ja operaattoreiden lisäksi myös järjestelmän tulevat käyttäjät. Näin standardista saatiin paremmin juuri tuleville käyttäjäryhmille sopiva. Standardin ensimmäinen versio julkaistiin vuonna 1995 [Ets00] ja työtä on jatkettu uusien ominaisuuksien osalta koko ajan.

TETRA-standardin edistämiseksi ja tukemiseksi perustettiin vuonna 1994 Memorandum of Understanding (MoU). MoU:hun kuuluu valmistajia, operaattoreita ja käyttäjäorganisaatioita (mm. viranomaisia) 19:sta maasta [Tet00]. Yhteistyöhön kuuluu, että standardissa määrittelemättömistä asioista sovitaan MoU:ssa.

2.1 Markkinat

PMR-järjestelmien käyttäjämäärät nousevat ennustusten mukaan ja Euroopassa lähes kaikki käyttäjät siirtyvät vuoteen 2008 mennessä analogisista järjestelmistä TETRA:an:



Source: The Strategis Group, ADL Estimates

Kuva 2: Arvio TETRA-käyttäjien lukumäärän kehityksestä Euroopassa [Pin99]. PSS tarkoittaa viranomaisjärjestelmiä ja PC siviilikäyttäjien järjestelmiä.

PMR-käyttäjät voidaan jakaa kahteen asiakasryhmään: pelastus- ja turvallisuusalan viranomaiskäyttäjiin (Public Safety and Security, PSS) sekä ammatissaan erillisverkkoa käyttäviin siviileihin (Professional Cellular, PC). Vuonna 2010 maailmassa arvioidaan olevan 8 - 16 miljoonaa TETRA-käyttäjää, joista 3 - 6 miljoonaa olisi PSS-segmentiltä ja 5 - 10 miljoonaa siviilisegmentiltä [Blo99].

PSS-segmentillä eli poliisi-, palo- ja pelastustoimen viestintäverkot ovat vanhoja analogisia järjestelmiä, joissa yksi suurimmista ongelmista on esimerkiksi Unkarissa [Tet00] on järjestelmän heikko turvallisuus: rikolliset salakuuntelevat poliisiradiota ja tietävät poliisin liikkeitä. TETRA:ssa salausmenetelmät estävät kuuntelun.

Siviilikäyttäjät ovat mm. yrityksiä, jotka tarvitsevat radiojärjestelmän päivystäjän ja esimerkiksi korjausmiesten välille. Tällaisia yrityksiä on esimerkiksi energia-alalla ja kuljetussektorilla.

2.2 Käyttäjien vaatimukset ja TETRA

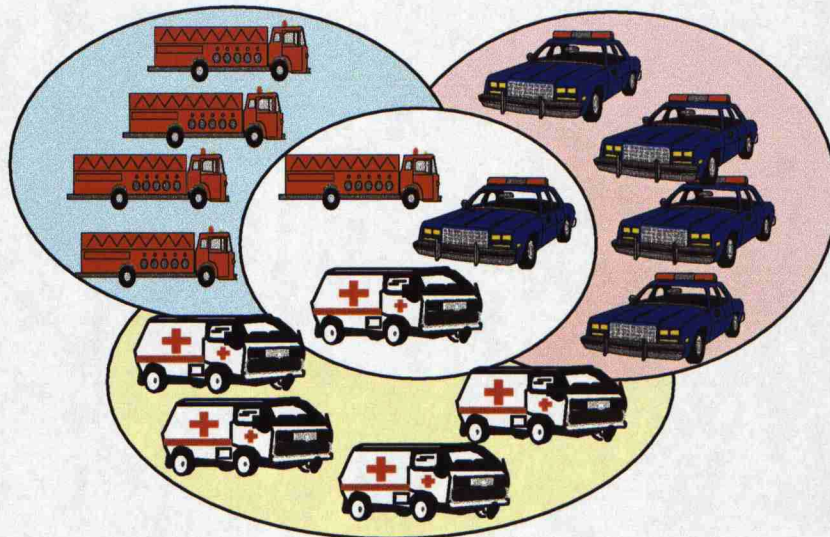
Viranomaisverkoissa (PSS-segmentti) tärkeintä on luotettavuus ja turvallisuus. Luotettavuus tarkoittaa, että järjestelmän tulee toimia kaikissa mahdollisissa tilanteissa ja kattaa koko maa. TETRA-järjestelmän tukiaseman välityksellä puhelut

ovat mahdollisia paikallisesti, vaikka yhteys keskuksen ja tukiaseman välillä katkeaisi hetkeksi. Järjestelmä huomaa, jos jollain taajuudella on häiriöitä, ja siirtyy käyttämään muita mahdollisia taajuuksia. Verkko pystytään rakentamaan maanlaajuiseksi, koska jokaiselle viranomaisorganisaatiolle ei tarvitse rakentaa omia verkkoja. Käyttäjäorganisaatiot näkevät verkon omanaan, koska eri organisaatioille on luotu virtuaaliset verkot (VPN, Virtual Private Network); kukin organisaatio voi hallita vain omia käyttäjiään [Nok00a]. Myös TETRA-verkon ulkopuolisilla alueilla käyttäjät voivat kommunikoida keskenään ns. suoran toimintatilan (DMO, Direct Mode Operation) avulla ilman verkkoa (ks. 2.5).

TETRA takaa turvallisuuden monella tavalla. Digitaalinen tekniikan avulla voidaan salauksesta rakentaa vahvempi, TETRA:ssa on monta salausavainta eri tarkoituksia varten ja myös päästä-päähän salaus on mahdollinen [Lii97]. Kuten esimerkiksi GSM:ssä, verkko voi tunnistaa päätelaitteen. Lisäksi TETRA:ssa päätelaite voi tunnistaa verkon [Lii97], jolloin estetään se, että käyttäjät rekisteröityisivät esimerkiksi rikollisjoukon hämäysverkkoon ja rikolliset pääsisivät arkaluontoiseen tietoon käsiksi.

Eniten viranomaiset käyttävät ryhmäpuhelua keskinäisessä viestinnässään. Poliisin päivystäjä voi välittää tiedot hälytyksistä kaikille samanaikaisesti, yhdellä ryhmäpuhelulla. Puhelunmuodostusajan on oltava hyvin lyhyt kiireellisiä tilanteita varten. TETRA:ssa puhelunmuodostusaika on noin 300 ms [Lii97], kun GSM:ssä se on useita sekunteja. Ryhmäpuhelussa vain yhdellä on kerrallaan puheenvuoro ja puheenvuorot jaetaan TETRA:ssa käyttäjien prioriteettien mukaan: palopäällikölle määritelty korkeampi prioriteetti takaa, että hän saa kaikkia palomiehiä koskevan tärkeän viestin helpommin läpi. Vaaratilanteita varten viranomaisverkoissa on hätäpuhelumahdollisuus. Jos TETRA-verkon resurssit on varattu, hätäpuhelu ottaa vähemmän kiireellisen puhelun resurssit käyttöön, jotta hätäpuhelun onnistuminen voidaan kaikissa tilanteissa taata [Lii97].

Viranomaiset tarvitsevat monipuolista työasemaa, josta päivystäjä voi tarkkailla toimintaa ja kommunikoida tehokkaasti eri ihmisten kanssa. Vaikka organisaatioiden virtuaaliverkot toimivat normaalisti toisistaan riippumatta, täytyy eri viranomaisten pystyä kommunikoidaan keskenään onnettomuustilanteissa. TETRA:ssa ryhmien hallinta on dynaaminen, olemassa olevia ryhmiä voi riittävät oikeudet omaava päivystäjä tarvittaessa yhdistää:



Kuva 3: Dynaamisen ryhmien hallinnan ansiosta eri organisaatioiden ryhmiä voidaan haluttaessa yhdistää [Pes98].

Siviilikäyttäjille (PC-segmentti), joille tavallisen matkapuhelinjärjestelmän kuten GSM:n palvelut eivät riitä, TETRA on vartenotettava vaihtoehto. Ryhmäkommunikaatiota tarvitaan esimerkiksi korjausryhmän ja päivystäjän, kuljetusyrityksen autojen tai lentokentän eri toimintojen välillä. Toki käyttäjät puhuvat myös yksilöpuheluita ja tarvitsevat yhteyksiä muihin televerkkoihin.

Koska siviilikäyttö ei ole yleensä niin elintärkeää kuin PSS-segmentillä, ei viestintäverkkoa kannata rakentaa täysin aukottomaksi hinnalla millä hyvänsä – kustannusten optimointi on tärkeämpää. TETRA:n ryhmäpuhelu käyttää vähän verkon resursseja, yhden tukiaseman alueella tarvitaan vain yhdestä kahteen liikennekanavaa eli aikaväliä puhelua varten riippuen siitä, onko puheenvuoron saanut kyseisen tukiaseman alueella. Näin resursseja säästyy huomattavasti, kun jokaista ryhmäpuheluun osallistuvaa kohti ei tarvita kahta liikennekanavaa. TETRA:n käyttämän alhaisen taajuusalueen vuoksi signaali vaimenee vähemmän kuin korkeilla taajuuksilla ja pienempi määrä tukiasemia riittää kattamaan saman maantieteellisen alueen.

TETRA on myös hyvin skaalautuva, verkon peittoalue voidaan rakentaa yhden tehtaan alueesta aina monen maan kattavaksi. TETRA-verkon ostanut yritys voi myös myydä kapasiteettia muille saman alueen yrityksille virtuaaliverkkojen avulla: jokainen yritys näkee vain oman osuutensa verkosta eikä häiriöitä voi aiheutua muille käyttäjille. Myös siviilikäyttäjät vaativat järjestelmältä luotettavuutta. Esimerkiksi Helsingin Energia valitsi viestintäjohtaja Jouni Pesosen mukaan [Jää97] TETRA-verkon GSM-verkon sijaan, koska TETRA toimii luotettavammin poikkeuksellisissa olosuhteissa kuten voimakkaan lumimyrskyn tai sähkökatkojen aikana.

Niin viranomaisille kuin siviilikäyttäjille datapalvelut ovat tärkeitä. TETRA välittää jopa 28,8 kbit/s nopeudella piirikytkentäistä dataa (ks. 2.4). Lyhytsanomat voivat olla enintään 256 merkin pituisia [Lii97]. Lisäksi käyttäjä voi lähettää tilaviestejä, joille on ennalta tallennettu sanallinen vastine. Esimerkiksi lounastauolle lähtevä käyttäjä ilmoittaa puhelimella tauon alkamisesta päivystäjälle, jolloin ilmatietä välitetään vain tilaviestiä vastaava numero. Päivystäjän työasema osaa tulkita numeron ja päivystäjä lukee päätteeltään kyseisen käyttäjän lounastaukoilmoituksen. Tilaviestejä voidaan hyödyntää organisaation sisällä halutulla tavalla: energia-yhtiö voi välittää TETRA-verkon kautta tietoja sähköjakeluverkon elementtien vioista TETRA-verkon kapasiteettia säästävillä lyhyillä tilaviesteillä.

2.3 V+D

TETRA-standardi määrittelee kaksi erilaista verkkotyyppiä. Molemmat käyttävät samaa kanavajakoa, radiotekniikkaa ja modulaatiota. Eri verkkotyyppien laitteistot eivät ole kuitenkaan yhteensopivia toistensa kanssa eli niitä ei voi käyttää ristiin.

TETRA puhe ja data (Voice + Data, V+D)	Tarjoaa yhdistetyt puhe- ja datapalvelut
TETRA pakettidataoptimoitu (Packet Data Optimised, PDO)	Tarjoaa ainoastaan alueelliset dataliikennepalvelut

Kuva 4: TETRA:n verkkotyypit [Lii97].

Vaikka PDO:n datanvälityskyky on muutaman prosentin parempi, ovat V+D:n monipuolisemmat palvelut yleensä tärkeämpiä [Ets97]. Niinpä laitevalmistajat toteuttavat järjestelmänsä useimmiten V+D-standardin mukaisesti. Näin on tehnyt myös Nokia.

2.4 Palvelut

V+D-standardissa on määritelty yksilö-, ryhmä- ja hätäpuhelu.

Yksilöpuhelu on joko tavallinen puhelu (hook call), jossa puhelu alkaa kun B-tilaaja vastaa puhelimeen, tai suorapuhelu (direct call), jossa puhelu alkaa heti soittamisen jälkeen: B-tilaajan ei tarvitse vastata puhelimeen. Nopeasta puhelunmuodostuksesta johtuen radioresurssit eli kahden käyttäjän väliset kanavat varataan vastaanottajan vastatessa puheluun [Lii97].

Puhelu voi olla yleisen televerkon (PSTN, Public Switched Telephone Network) tapaan kaksisuuntainen (duplex), jolloin molemmat osapuolet voivat puhua samanaikaisesti, tai vuorosuuntainen (semi-duplex), jolloin yhdellä osapuolella kerrallaan on puheenvuoro. Vuorosuuntaisessa puhelussa käyttäjä painaa puhelimesta olevaa tangenttia halutessaan puheenvuoron ja järjestelmä jakaa puheenvuorot pyyntöjen perusteella. Kaksisuuntaisessa puhelussa molemmat käyttäjät tarvitsevat kumpikin kaksi liikennekanavaa: toisen puhumista (uplink, nouseva siirtotie) ja toisen kuuntelemista (downlink, laskeva siirtotie) varten. Yhteensä kaksisuuntaisessa puhelussa tarvitaan siis neljä liikennekanavaa. Vuorosuuntaisessa puhelussa riittää yhteensä kaksi liikennekanavaa: toinen henkilö puhuu eikä tarvitse kanavaa kuuntelua varten ja päinvastoin.

Ryhmäpuhelu on TETRA-standardin tärkeimpiä palveluita, jonka takia ryhmäpuhelun ominaisuudet käsitellään omassa luvussaan (ks. 2.4.1).

Hätäpuhelu muodostetaan yleensä painamalla puhelimesta olevaa hätäpainiketta. Hätäpuhelu yhdistetään joko käyttäjäkohtaisesti määriteltyyn numeroon tai organisaatiolle määriteltyyn hätänumeroon.

TETRA:n datapalveluihin kuuluvat tilaviestit, lyhytsanomat sekä piiri- ja pakettikytkentäinen data.

Tilaviestit ovat 16 bitin pituisia sanomia [Lii97]. Tilaviestin arvo on etukäteen määritelty ja laitteet näyttävät numeron sijaan tekstin. Tilaviestillä voidaan välittää tietty lyhyt viesti verkon resursseja säästäen, erilaisia etukäteen määriteltyjä viestejä voi olla järjestelmässä 65 536 kappaletta. Esimerkiksi poliisipartio voi välittää tiedon päivystäjälle, mitä he ovat kullakin hetkellä tekemässä ja päivystäjä näkee kaikkien partioiden toiminnan tekstinä käyttöpaikkatyöaseman ruudulla.

Lyhytsanomia on TETRA:ssa määritelty neljä eri tyyppiä [Lii97]. Tyypit 1 - 3 ovat 16, 32 ja 64 bitin pituisia. Neljännen tyypin pituus on vapaasti määriteltävissä 2048 bittiin saakka. TETRA-lyhytsanomissa merkit välitetään 8-bittisinä, jolloin lyhytsanomalla voi välittää korkeintaan 256 merkkiä kerrallaan.

Piirikytkentäisen datan välitysnopeus riippuu käytettävästä suojauksesta. Yhtä aikaväliä käytettäessä (ks. ilmarajapinta 2.6.1) nopeus on 2,4 - 7,2 kbit/s ja neljällä aikavälillä saavutetaan nopeus 9,2 - 28,8 kbit/s [Lii97]. Pakettikytkentäinen palvelu perustuu TCP/IP-protokollaan (Transport Control Protocol / Internet Protocol) ja palvelu on joko yhteydetöntä tai yhteydellistä.

TETRA-standardissa on määritelty noin 30 lisäpalvelua [Lii97]. Niistä tärkeimpiä ovat:

- puhujan tunnisteiden näyttö (TPI, Talking Party Identification): kaikki puhelun osapuolet näkevät puhujan numeron tai nimen päätelaitteen näytössä
- ryhmätietojen ohjelmointi (DGNA, Dynamic Group Number Assignment): päivystäjä voi luoda, muokata ja poistaa ryhmiä radioteitse päätelaitteelle
- altapurkava prioriteettipuhelu (PPC, Pre-emptive Priority Call): järjestelmä purkaa alemman prioriteetin puhelun resurssien ollessa varattu
- taustakuuntelu (AL, Ambience Listening): päivystäjä voi kytkeä puhelimen lähetysten päälle ilman, että puhelin näyttää sitä, esimerkiksi panttivankitilanteessa
- myöhempi ryhmään liittyminen (LE, Late Entry): verkko lähettää jatkuvasti tietoa käynnissä olevasta ryhmäpuhelusta. Palvelun avulla tilaajat, jotka olivat saavuttamattomissa puhelunmuodostuksen aikana voivat liittyä mukaan puheluun
- puhelunmuodostus soittolistan perusteella (LSC, List Search Call): puhelua yritetään tallennetun listan perusteella eri käyttäjille, kunnes joku heistä vastaa
- tavalliset televerkon lisäpalvelut: puhelusiirrot, puheluestot, koputus ja puhelun pito

2.4.1 Ryhmäpuhelu

Ryhmäpuhelutyyppejä on kaksi: viestikanava- (POC, Pseudo Open Channel) ja puheluryhmätyypit (call group call) [Lii97].

Viestikanavapuhelu vastaa aikaisempien järjestelmien avointa kanavaa: käyttäjä vain painaa päätelaitteen tangenttia halutessaan puhua ryhmälle eikä käyttäjälle näy puhelunmuodostus. Järjestelmä aloittaa tangentin painalluksesta uuden puhelun, ja muut käyttäjät voivat vuorollaan puhua puhelun aikana. Mikäli kukaan ei puhu tietyn ajan kuluessa, puhelu puretaan ja seuraava tangentin painallus aloittaa uuden puhelun. Käyttäjän kannalta kanava on auki aina ja hänen ei tarvitse tietää, koska uusi puhelu muodostetaan.

Puheluryhmä-tyyppisessä puhelussa tietyt oikeudet omaava käyttäjä voi aloittaa puhelun ja puhelu loppuu, kun puhelun aloittaja tai päivystäjä lopettaa puhelun.

Jatkossa käsitellään ainoastaan viestikanavapuhelua, sillä sitä käytetään useammin TETRA-verkossa.

Ryhmäpuhelussa vain yksi henkilö voi kerrallaan puhua, muut kuuntelevat. Ryhmäpuhelu on siis aina vuorosuuntainen. Puheenvuoron jonottaminen aloitetaan painamalla tangenttia ja puheenvuorot määräytyvät jonossa oleville käyttäjille asetettujen prioriteettien mukaan. Käyttäjät voivat olla usean ryhmän jäseniä samanaikaisesti. Jos jossakin heidän aktiivisesti seuraamassaan ryhmässä alkaa ryhmäpuhelu, päätelaite kytkee puhelun päälle. Ryhmäpuheluille on määritelty prioriteetti. Mikäli toisen ryhmäpuhelun ollessa kesken alkaa käyttäjän aktivoimassa ryhmässä korkeampiprioriteettinen puhelu kuin käynnissä oleva, päätelaite vaihtaa toiseen ryhmään. Järjestelmä ei tiedä, minkä tukiasemien alueella on ryhmään kuuluvia jäseniä, ellei kyseessä ole ns. kuitattu ryhmäpuhelu (acknowledged group call) [Lii97].

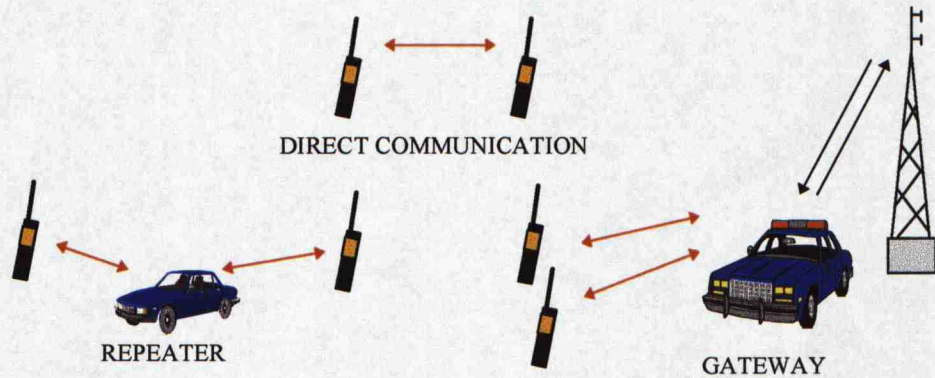
Ryhmälle on määritelty tietty alue, jolla ryhmäpuhelu voidaan muodostaa. Alue koostuu yleensä tietyn alueen tukiasemista, mutta alueena voi olla myös koko TETRA-verkko. Ryhmän alue voi olla kiinteä tai käyttäjien sijaintialueen mukaan vaihtuva [Lii97].

Ryhmät erotetaan toisistaan TETRA-ryhmätunnuksella GTSI (Group TETRA Subscriber Identity) [Lii97]. Tämä tunnus voidaan esiohjelmoida päätelaitteeseen ennen käyttöönottoa tai se voidaan ohjelmoida päätelaitteeseen ilmateitse. Päivystäjä voi siis muodostaa uusia ryhmiä tarvittaessa. Päätelaitteeseen esiohjelmoituista ryhmistä käyttäjä voi valita, haluaako hän osallistua ryhmien kommunikatioon. Muiden ryhmien osalta TETRA-keskus aktivoi ryhmät päätelaitteen tullessa ryhmän alueelle ja deaktivoi päätelaitteen poistuessa ryhmän alueelta.

Aikaisemmin alkaneista ryhmäpuheluista välitetään myöhemminkin tietoa päätelaitteille, jotta esimerkiksi ryhmän alueelle tuleva käyttäjä pääsee mukaan puheluun. Tätä ominaisuutta kutsutaan myöhemmäksi ryhmään liittymiseksi (late entry) [Lii97]. Myös päivystäjä (dispatcher) voi liittyä ryhmään, puhua siihen ja kuunnella sitä sekä seurata ryhmän tapahtumia kuten puheenvuoroja näyttöpäätteeltään.

2.5 DMO

Suoran toimintatilan (DMO) avulla käyttäjät voivat kommunikoida ilman TETRA-verkkoa. Käyttäjät aloittavat suoran toimintatilan itse halutessaan, kun esimerkiksi he eivät ole verkon peittoalueella tai verkon kapasiteetti on käytössä. Toimintatilaa voidaan hyödyntää kolmella eri tavalla:



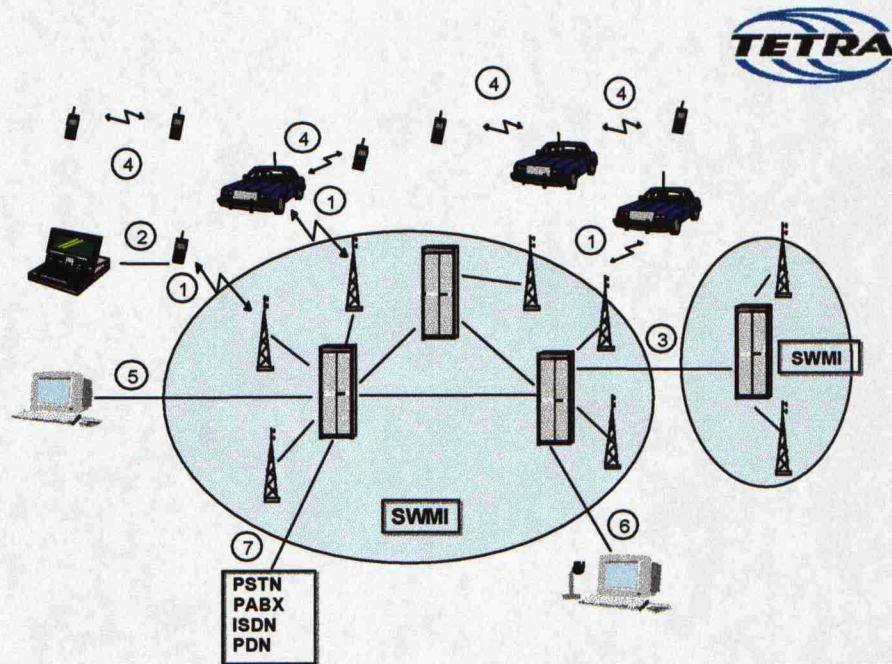
Kuva 5: TETRA:ssa on kolme erilaista suoraa toimintatilaa [Lii97].

Käyttäjät voivat olla keskenään suoraan yhteydessä päätelaitteiden välityksellä, kuvassa direct communication. Ajoneuvossa oleva päätelaite voi toimia kahden muun päätelaitteen välisenä toistimena, kuvassa repeater. Näin suoran toimintatilan kuuluvuusaluetta voidaan kasvattaa.

Kolmannessa vaihtoehdossa ajoneuvon päätelaite toimii yhdyskäytävänä TETRA-verkon tukiaseman ja suoraa toimintatilaa käyttävien päätelaitteiden välillä, kuvassa gateway. Yhdyskäytävänä toimivan päätelaitteen tulee lähettää ja vastaanottaa samanaikaisesti sekä TETRA-verkon liikennettä että suoran toimintatilan liikennettä. Näin TETRA-verkon kuuluvuusaluetta voidaan väliaikaisesti laajentaa.

2.6 Standardirajapinnat

TETRA-standardi ei määrittele verkon toteutukseen liittyviä yksityiskohtia, ne ovat jokaisen valmistajan itse päätettävissä. Tämän takia kaikki verkkolaitteet on ostettava samalta valmistajalta. Sen sijaan standardissa määritellään seitsemän rajapintaa [Lii97]:



Kuva 6: TETRA:n standardirajapinnat. Kuvassa on ympyröity valmistajakohtaiset verkkoelementit, joiden tehtäviä ja rajapintoja standardi ei määrittele [Lii97]. Näitä verkkoelementtejä kutsutaan verkon infrastruktuuriksi (SwMI, Switching and Management Infrastructure).

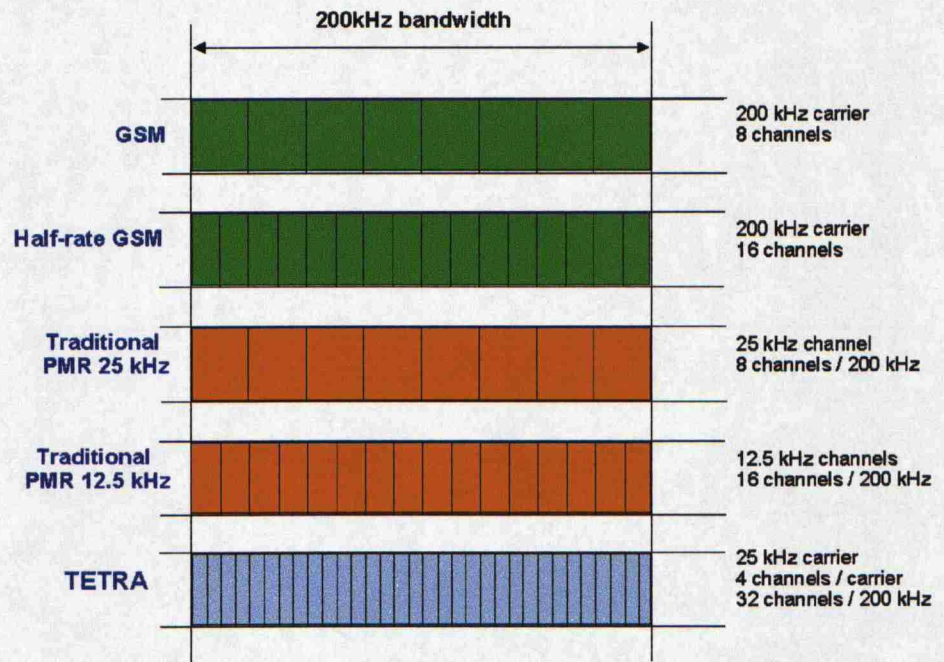
1. Ilmarajapinta, Air Interface (AI). Päätelaitteen ja järjestelmän välinen rajapinta (ks. 2.6.1), jonka välityksellä eri valmistajien päätelaitteet ja verkko voivat toimia yhdessä.
2. Päätelaiterajapinta, Peripheral Equipment Interface (PEI). Rajapinta, joka mahdollistaa datavälityksen datapäätelaitteen ja TETRA-päätelaitteen välillä.
3. Järjestelmärajapinta, Inter-System Interface (ISI). Kaksi TETRA-verkkoa voidaan yhdistää tämän rajapinnan kautta.
4. Suoran toimintatilan ilmarajapinta, Direct Mode Operation (DMO) Interface. Päätelaitteet voivat olla yhteydessä keskenään ilman järjestelmää tämän ilmarajapinnan avulla.
5. Verkonhallintarajapinta, Network Management Interface. Rajapinnan kautta voidaan ylläpitää verkkoa ja muuttaa laitteistokokoonpanoa.
6. Johtokytkeäisen aseman rajapinta, Line Connected Station Interface. Rajapinta mahdollistaa esimerkiksi päivystäjän työaseman kytkemisen järjestelmään.

7. Yhdyskäytävärajapinta, Gateway Interface. TETRA-verkko liittyy muihin järjestelmiin kuten yleiseen televerkkoon (PSTN), yksityiseen puhelinvaihteeseen (PABX, Private Access Branch eXchange), ISDN (Integrated Services Digital Network) -verkkoon tai yleiseen dataverkkoon (PDN, Public Data Network).

2.6.1 Ilmarajapinta

TETRA-verkon sisällä ei ole määritelty rajapintoja, joten ilmarajapinta mahdollistaa eri valmistajien päätelaitteiden ja verkon välisen toimivuuden. Kaikki palvelut ja salaus toimivat ilmarajapinnan välityksellä. Ilmarajapinta on siis oleellinen osa TETRA-standardista.

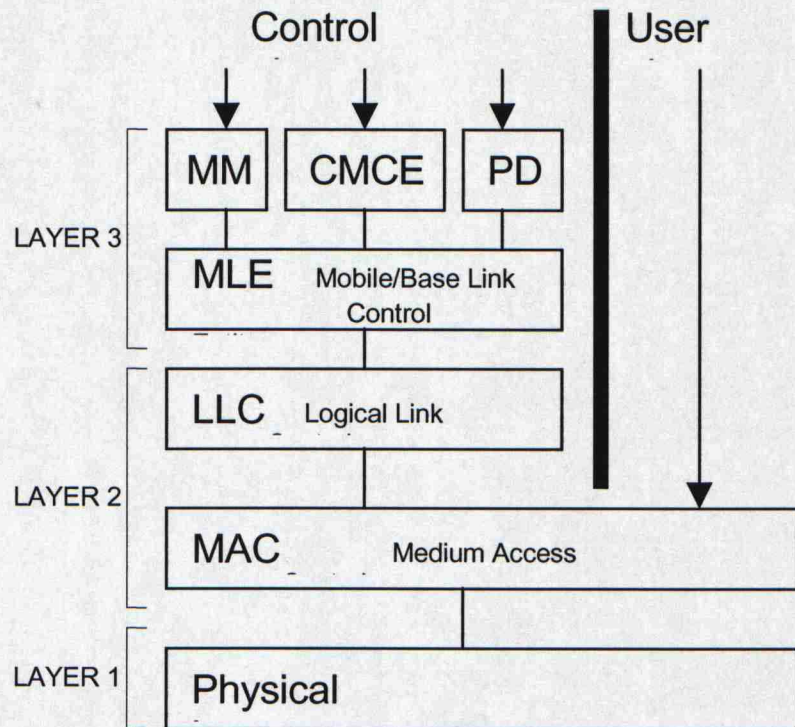
TETRA käyttää sekä taajuusjakomultipleksointitekniikkaa (FDMA, Frequency Division Multiple Access) että aikajakomultipleksointitekniikkaa (TDMA, Time Division Multiple Access). Taajuusjakomultipleksoinnilla käyttäjät jaetaan eri taajuuksilla oleville kantoaalloille. Aikajakomultipleksoinnin avulla yhdellä kanta-aallolla välitetään neljä tiedonsiirtokanavaa [Ets96a]. Puhetta välitettäessä puhe muunnetaan digitaaliseksi ja koodataan ACELP (Algebraic Code-Excited Linear Prediction) -puhekoodekillä. ACELP-koodekki soveltuu hyvin TETRA:n käyttöön, sillä se toimii hyvin häiriöisessäkin ympäristössä poistaen kohinaa [Lii97]. Koodekki pakkaa puheen vain 4,567 kbit/s nopeudella, mikä mahdollistaa tehokkaan taajuuskaistan käytön:



Kuva 7: TETRA:n taajuuskaistan käytön tehokkuuden vertailu muihin järjestelmiin [Blo97].

Puhetta välitettäessä tarvittava välitysnopeus kehyksineen on 7,2 kbit/s. Kantoaaltojen väliksi valittiin 25 kHz, koska nykyiset PMR-järjestelmät käyttävät joko 12,5 kHz:n tai 25 kHz:n kantoaaltojen väliä [Lii97]. TETRA voi tämän ansiosta käyttää nykyisten järjestelmien taajuuksia. TETRA:n kantoaallon kokonaisbittinopeus on 36 kbit/s [Ets96a].

Modulaationa TETRA:ssa käytetään lineaarista differentiaalista nelivaihemodulaatiota (DQPSK, Differential Quarternary Phase Shift Keying) [Ets96a]. Valittu modulaatio vaatii lähetyshavvistimilta lineaarisuutta, jotta vaiheinformaatio ei vääristy. DQPSK-modulaatiolla symbolinopeus on puolet bittinopeudesta. Havvistimen lähetysteho on säädettävissä, TETRA määrittelee radioille eri teholuokkia [Ets97].



Kuva 8: TETRA:n merkinantoprotokolla-arkkitehtuuri päätelaitteesta päin kuvattuna [Ets97].

TETRA-merkinantoprotokolla-arkkitehtuuri välittää sekä ohjaustason (Control plane) että käyttäjätason (User plane) liikennettä. Kuvaan merkityt kaksi alinta kerrosta (layer) ovat kansainvälisen standardointiorganisaation (ISO, International Standardisation Organisation) avointen järjestelmien yhteenliittämismallin (OSI, Open System Interface) mukaisia. Alin kerros (layer 1) on fyysinen kerros, keskimmäinen kerros (layer 2) on siirtoyhteyskerros (DLL, Data Link Layer) ja ylin kerros (layer 3) on verkkokerros. Verkkokerros sisältää OSI-mallin mukaisen verkkokerroksen lisäksi OSI-mallin ylimmän kerroksen eli sovelluskerroksen toimintoja.

Ohjaustason liikennettä käsittelevät seuraavat yhteyskäytännöt (engl. protocol) [Ets97]:

Liikkuvuuden hallinta (MM, Mobility Management) ohjaa solun ja verkon vaihtoja tilaajan liikkeessa. Piirikytkentäisten palveluiden yhteyskäytäntö (CMCE, Circuit Mode Control Entity) vastaa puhelunohjauksen, lisäpalveluitten ja lyhytsanomien toiminnasta. Pakettidata (PD, Packet Data) tarjoaa yhteydellistä tai yhteydetöntä pakettidatapalvelua. Yhteyksikäytäntö päätelaitteen ja verkon välillä (MLE, Mobile/base Link control Entity), joka pitää huolta linkkiyhteydestä, liikkuvuudesta rekisteröintialueella ja palvelun laadusta. Loogisen siirtotien ohjaus (LLC,

Logical Link Control) on vastuussa datan lähetyksestä ja uudelleen lähetyksestä sekä lohkoihin jaosta ja uudelleen kokoamisesta.

Käyttäjätason liikenne on joko salattua tai salaamatonta puhetta, suojattua tai suojaamatonta piirikytkentäistä dataa tai datavälitystä käyttäjien välillä.

Ohjaustason ja käyttäjätason liikenne ohjataan siirtokanavan saantimenettelyn ohjaukseen (MAC, Medium Access Control). Tämä kerros erottelee ohjaus- ja käyttäjätason liikenteen, synkronoi aikajakoiset kehykset, vastaa kanavien koodauksesta ja mittaa kanavien virhesuhteen ylempiä kerroksia varten.

Alin kerros on fyysinen kerros, joka käsittelee radiotiehen liittyviä asioita kuten modulaatiota, vaihtoa vastaanoton ja lähetyksen välillä, taajuus- ja symbolikorjaamismenettelyä ja päätelaitteen tehon ohjausta.

2.7 Erot muihin järjestelmiin

2.7.1 Perinteiset PMR-järjestelmät

Tärkein ero nykyisten PMR-järjestelmien ja TETRA:n välillä on digitaalisuus. TETRA:a edeltäneet PMR-järjestelmät ovat pääosin analogisia. TETRA tuo mukanaan paremman puheen laadun, salauksen ja monipuolisemmat palvelut niin puhekuin dataliikenteeseen. TETRA käyttää taajuuskaistaa tehokkaasti, 25 kHz:n kantoaallolla välitetään neljä liikennekanavaa. Eri organisaatioiden virtuaaliverkot ja TETRA:n skaalautuvuus merkitsevät organisaatioille kustannussäästöjä.

2.7.2 Matkapuhelinjärjestelmät

TETRA:n oleellisimpia palveluita on ryhmäpuhelu, joka muodostetaan kaikille ryhmän jäsenille 300 millisekunnin aikana yhden keskuksen alueella. Tämä on yli kymmenen kertaa nopeampaa, kuin esimerkiksi GSM:ssä. TETRA on taajuuskais-tan käytöltään 2 - 4 kertaa GSM:ää tehokkaampi ja vuorosuuntainen kommuni-kointimahdollisuus säästää järjestelmän resursseja. Prioriteetit, nopea datavälitys (aina 28,8 kbit/s nopeuteen asti), parempi turvallisuus ja päivystäjän työasema ovat oleellisia eroja TETRA:n hyväksi.

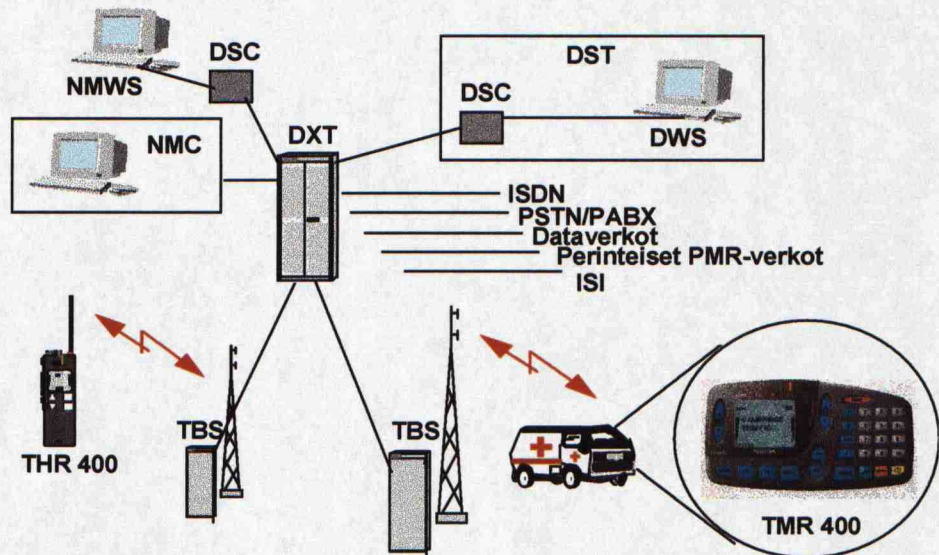
2.8 Nokia TETRA System

Nokia on TETRA-järjestelmien kokonaistoimittaja eli se valmistaa kaikkia TETRA-järjestelmässä tarvittavia laitteita päätelaitteista TETRA-keskuksiin. Kuten useimmat valmistajat, Nokia on valinnut TETRA:n puhe- ja data (V+D) -verkko-tyypin toteutuksen lähtökohdaksi pakettidataoptimoidun sijaan (PDO). Standardin

lisäksi Nokia on toteuttanut järjestelmäänsä verkonhallinta- ja pakettidatatoimintoja, joita ei ole määritelty standardissa, mutta jotka voidaan toteuttaa standardin antamissa puitteissa.

Nokian valmistama TETRA-verkko koostuu seuraavista elementeistä:

- digitaalinen TETRA-keskus (DXT, Digital eXchange for TETRA)
- TETRA-tukiasema (TBS, TETRA Base Station)
- käyttöpaikka (DST, Dispatcher System for TETRA)
- TETRA-päätelaite (TMR, TETRA Mobile Radio eli TETRA ajoneuvoradio ja THR, TETRA Hand-held Radio eli TETRA käsiradio)
- verkonhallintakeskus (NMC, Network Management Center)



Kuva 9: Nokian valmistama TETRA-verkko [Lii97]. Tärkeimmät kuvassa käytetyt lyhenteet on selitetty tekstissä.

Järjestelmän ydinkomponentti on digitaalinen TETRA-keskus (DXT), jossa on toteutettu suurin osa verkon toiminnallisuudesta. Se perustuu Nokian vikasietoiseen DX200-puhelinkeskukseen, jossa kaikki tärkeimmät toiminnot on varmennettu. Muun muassa puhelunmuodostuksessa tarvittavat tietokannat sijaitsevat TETRA-keskuksissa. Erillistä GSM:n tyyppistä kotirekisteriä (HLR, Home Location Register) ei järjestelmässä ole vaan nykyisessä toteutuksessa kaikki tieto jaellaan kaikkiin TETRA-keskuksiin. Tämä takaa viranomaisten vaatiman paremman luotettavuuden kriisitilanteissa.

TETRA-tukiasema (TBS) liittyy yhteen TETRA-keskukseen, joka ohjaa tukiasemia. Tukiasema toteuttaa ilmarajapinnan päätelaitteiden ja TETRA-verkon välille. Käyttöpaikka (DST) on suunniteltu järjestelmässä toimivia päivystäjiä varten. Käyttöpaikan avulla voi myös muokata keskuksen tietokannassa olevia tietoja. Verkonhallintakeskus (NMC) tarjoaa palvelut koko verkon toiminnan tarkkailuun ja verkonhallintakeskuksesta voidaan puuttua verkossa mahdollisesti ilmeneviin vikatilanteisiin.

TETRA-päätelaitteet ovat joko kädessä pidettäviä käsiradioita (THR) tai ajoneuvon kiinteästi asennettavia ajoneuvoradioita (TMR). Käsiradio on pienikokoinen radiopuhelin, josta on kaksi eri mallia: viranomaiskäyttöön suunniteltu laite ja siviilikäyttöön soveltuva enemmän tavallista matkapuhelinta muistuttava laite. Ajoneuvoradiossa on erillinen litteä ohjausyksikkö, joka kytketään puhelimeen kaapelilla. Ohjausyksikköjä on erilaisia ja ne voidaan sijoittaa sopivalle paikalle auton hallintalaitteiden lähelle; itse puhelin voidaan sijoittaa esimerkiksi auton kojelaudan sisälle. Päätelaitteisiin on tallennettu TETRA-yksilötunnus ITSI (Individual TETRA Subscriber Identity), jonka perusteella käyttäjä tunnistetaan järjestelmässä. Jatkossa TETRA-päätelaitteessa saattaa olla SIM (Subscriber Identity Module) -kortti, johon käyttäjän tiedot tallennetaan [Ets98a].

3. GSM JA GPRS

Tässä kappaleessa esitellään GSM-standardin tärkeimmät ominaisuudet, järjestelmäkomponentit, rajapinnat, toiminnot ja merkinantoprotokolla-arkkitehtuuri. Satelliittimatkapuhelinjärjestelmät on kehitetty GSM-standardia hyväksikäyttäen ja samoja verkkoelementtejä ja rajapintoja löytyy myös satelliittijärjestelmistä. Yhteistyö GSM- ja satelliittijärjestelmien välillä kuvataan lyhyesti. Lopuksi esitellään uusi GSM-standardiin kuuluva pakettikytkentäinen GPRS-datapalvelu, jota saatetaan hyödyntää tulevaisuudessa myös satelliittimatkapuhelinjärjestelmissä.

3.1 GSM-standardi ja sen kehittäminen

GSM (Global System for Mobile communication) -standardin määrittely aloitettiin vuonna 1982 Euroopan posti- ja telehallintojen neuvottelukunnassa CEPT:ssä (Conference of European Postal and Telecommunications administrations) [Meh97]. Tavoitteena oli luoda eurooppalainen digitaalisen matkapuhelinverkon standardi, jotta eri maiden matkapuhelinverkot voidaan liittää yhteen ja saadaan aikaiseksi Euroopan laajuinen markkina-alue tuotekehityskustannusten jakamiseksi. GSM-standardi valmistui vuonna 1990 ja ensimmäinen kaupallinen järjestelmä avattiin vuonna 1992 [Meh97].

Standardointityö siirtyi CEPT:ltä Euroopan telealan standardointi-instituutille ETSI:lle. GSM Association kehittää ja tukee GSM-standardia sekä pyrkii edistämään sen leviämistä maailmalla. Siihen kuuluu 405 jäsentä, muun muassa teleoperaattoreita ja telehallinto-organisaatioita [Gsm00]. GSM-standardi levisi käyttöön myös Euroopan ulkopuolelle. GSM-käyttäjää on maailmassa yli 250 miljoonaa, joka on enemmän kuin missään muussa matkapuhelinteknologiassa [Gsm00].

3.2 GSM-tekniikka

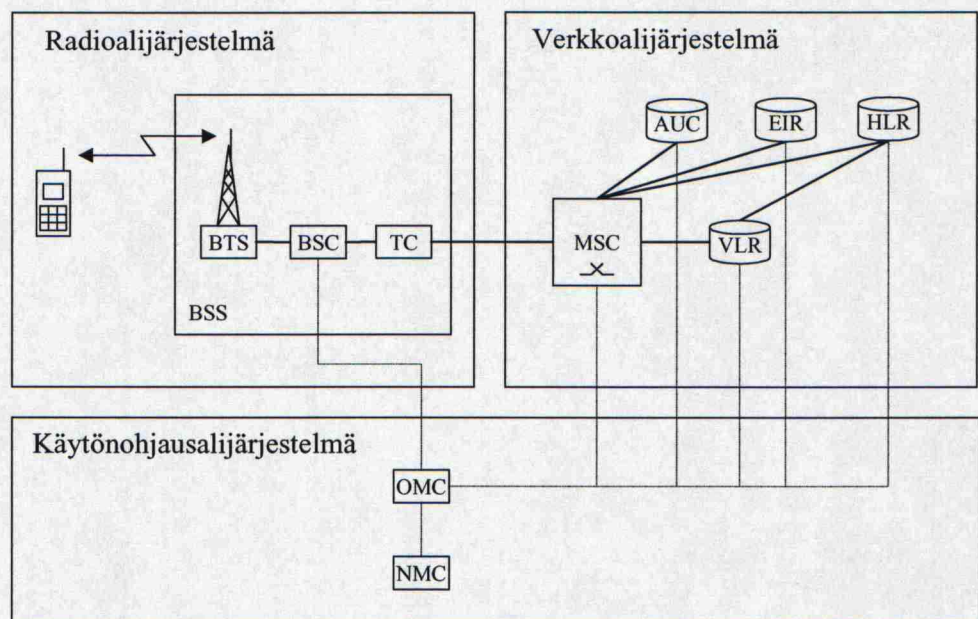
GSM käyttää taajuus- ja aikajakoista multipleksointia eli FDMA:ta ja TDMA:ta. Näiden avulla päätelaitteet jaetaan eri taajuuksille, joilla päätelaitteet käyttävät tarvittaessa järjestelmän määräämää aikaväliä. Kantoaallot ovat GSM-järjestelmässä 200 kHz:n välein, ja yksi kantoaalto jaetaan kahdeksaan aikaväliin [Meh97]. Tällöin puhekoodekki toimii 13 kbit/s nopeudella [Aht99]. Ilmarajapinnalla (ks. 3.4.) välitettävä informaatio suojataan erilaisilla virheenkorjausmenetelmillä, jolloin siirtonopeus yhtä aikaväliä kohti on 34 kbit/s [Aht99]. Jos tyydytään hieman huonompaan puheenlaatuun, voidaan puolinopeus-koodekilla (half-rate codec) jakaa 200 kHz:n kantoaalto 16 aikaväliin. Lähetys- ja vastaanottotaajuuudet ovat eri taa-

juusalueella. Euroopassa GSM-järjestelmät käyttävät 900 MHz:n ja 1,8 GHz:n taajuusalueita, Yhdysvalloissa on käytössä 1,9 GHz:n taajuusalue.

Modulaationa käytetään GMSK:ta (Gaussian Minimum Shift Keying). Tässä modulaatiossa lähetettävä bittivirta moduloi suoraan kanta-aallon vaihetta. Ennen modulointia bittivirta ohjataan Gaussin käyrän -tyyppisen suodattimen läpi, jonka avulla lähetteen spektri saadaan kapeaksi. Myös lähetettävän signaalin verhoikäyrä on vakio, jolloin puhelimen lähetyksosa voidaan toteuttaa helpommin käyttämällä epälineaarisia vahvistimia. Symbolinopeus on sama kuin lähetettävä bittinopeus [Meh97].

3.3 Järjestelmäkomponentit

GSM-järjestelmä jakautuu kolmeen alijärjestelmään: verkko-, radio- ja käytön-ohjausalijärjestelmiin. Standardointityössä päätettiin määritellä myös alijärjestelmien komponenttien toiminnallisuudet sekä rajapinnat niiden välillä, jotta operaattorit voivat ostaa järjestelmänsä osat eri valmistajilta ja kilpailu laskee hintoja.



Kuva 10: GSM-järjestelmä jakautuu radio-, verkko- ja käytönohjausali-järjestelmiin [Meh97].

3.3.1 Verkkoali-järjestelmä

Verkkoali-järjestelmä vastaa tilaajien ja puheluiden hallinnasta, tilaajien liikkuvuudesta ja yhteyksistä muihin järjestelmiin ja yleiseen televerkkoon. Verkkoali-järjestelmä koostuu keskuksista (MSC, Mobile services Switching Center), vierailijarekisteristä (VLR, Visitor Location Register), kotirekisteristä (HLR, Home Location

Register), tunnistuskeskuksesta (AUC, Authentication Center) ja laitetunnusrekisteristä (EIR, Equipment Identity Register) [Meh97].

GSM-keskus (MSC) hoitaa puhelun muodostamiseen, resurssien hallintaan, salaamiseen ja sijainnin päivitykseen liittyviä toimintoja. Matkapuhelinkeskus tarjoaa rajapinnat yleiseen televerkkoon ja toisiin keskuksiin. Se paikallistaa matkaviestimen puhelua muodostettaessa, vastaa tukiasemaohjainten (BSC, Base Station Controller) tai keskuksien välisistä kanavanvaihtoista käyttäjän liikkeessa puhelun aikana, kerää laskutustiedot puheluista ja ohjaa tukiasemien (BTS, Base Transceiver Station) taajuuksien vaihtamista.

Vierailijarekisteri (VLR) on tietokanta, joka sijaitsee yleensä matkapuhelinkeskuksessa. Tietokanta sisältää keskuksen alueella olevien tilaajien tiedot, kuten kansainvälisen matkaviestintilaajan tunnuksen (IMSI, International Mobile Subscriber Identity), matkaviestintilaajan tilapäisen tunnuksen (TMSI, Temporary Mobile Subscriber Identity), matkaviestintilaajan kansainvälisen ISDN-numeron (MSISDN, Mobile Station ISDN), tilaajan sijaintialueen (LA, Location Area), tunnistustiedot ja lisäpalveluiden parametrit [Meh97].

Kotirekisteri (HLR) on tietokanta, jossa säilytetään pysyvästi tietyn tilaajamäärän tiedot. Kotirekistereitäkin voi olla matkapuhelinverkossa useampia, mutta yksittäisen tilaajan tiedot ovat vain yhdessä kotirekisterissä. Tietokannassa on tilaajien tunnuksot ja numerot kuten IMSI ja MSISDN sekä tilatut palvelut [Meh97]. Mikäli matkaviestin on rekisteröitynyt verkkoon, sisältää kotirekisteri myös tiedot tilaajan tilapäisistä numeroista, parhaillaan käytettävän keskuksen ja vierailijarekisterin osoitteet sekä muun muassa tiedot odottavista tekstiviesteistä (SMS, Short Message Service). Tilaaajan sijaintitiedon muuttuessa uusi vierailijarekisteri hakee tarvitsemansa tiedot tilaajan kotirekisteristä ja vanha vierailijarekisteri poistaa tarpeettomat tiedot.

Tunnistuskeskus (AUC) tallentaa tilaajien ilmatien salauksessa tarvittavat avaimet sekä käyttäjien tunnistamisessa käytettävät tunnistusparametrit ja -algoritmit. Tunnistusalgoritmit (autentikointialgoritmit) voivat olla operaattorikohtaisia. Tunnistuskeskus sijaitsee yleensä fyysisesti kotirekisterin yhteydessä.

Laitetunnusrekisteri (EIR) tallentaa kansainväliset matkaviestimien laitetunnuksot (IMEI, International Mobile Equipment Identity). IMEI-numeroa käytetään tunnistamaan jokainen rekisteröity matkaviestin yksilöllisesti. Laitetunnusrekisteri tallentaa kaikki kyseisessä matkapuhelinverkossa olevat IMEI-numerot listoille [Meh97]. Valkoinen lista pitää sisällään kunnossa olevat ja hyväksytyt IMEI-

numerot. Musta lista sisältää varastettujen matkaviestimien IMEI-numerot ja tämän listan avulla niiden käyttö matkapuhelinverkossa voidaan estää. Harmaa lista sisältää matkaviestimet, joissa on jotain teknistä vikaa, mutta joiden käyttöä ei silti haluta estää.

3.3.2 Radioalijärjestelmä

Radioalijärjestelmä hoitaa yhteyksien muodostamisen radiotien yli. Alijärjestelmä koostuu matkaviestimestä (MS, Mobile Station), tukiasemasta (BTS), tukiasemaohjaimesta (BSC) ja transkooderista (TC, TransCoder).

Matkaviestin (MS) on joko autoon asennettava puhelin tai käsipuhelin. Jokaisessa matkaviestimessä on puhelimeen pysyvästi talletettu laitetunnus (IMEI), jonka avulla keskus voi tarkistaa, onko matkaviestin esimerkiksi varastettu. Jokaisella käyttäjällä on SIM-kortti (Subscriber Identity Module), johon on tallennettu käyttäjän tunnistetiedot ja numerot. Tällaisia ovat esimerkiksi MSISDN-numero, jolla yleisestä televerkosta soitetaan matkaviestimeen, IMSI-numero, joka on GSM-järjestelmässä käytetty tunnistenumero, ja tunnistusavain, jonka avulla käyttäjä tunnistetaan hyväksytyksi tilaajaksi [Meh97]. Lisäksi tunnistusalgoritmit ja ilma-
tien salauksessa käytettävä salausalgoritmi sijaitsevat SIM-kortilla [Aht99].

Tukiaseman päätehtävä on (BTS) lähettää ja vastaanottaa radiosignaaleita matkaviestimiltä. Tukiaseman aluetta kutsutaan soluksi ja alueen kattaa yleensä kolmesta viiteen kantoaaltoa.

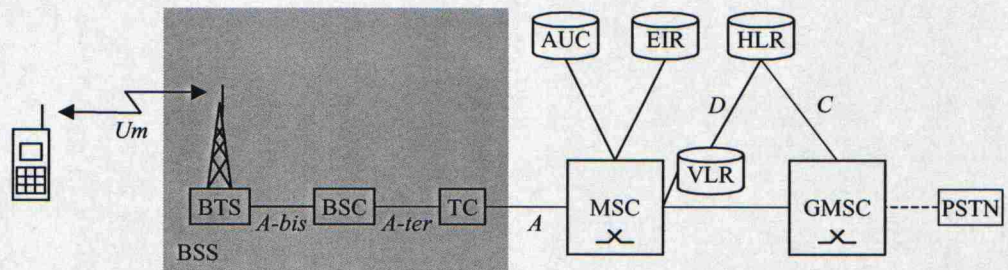
Tukiasemaohjaimeen (BSC) liittyy yksi tai useampia tukiasemia. Tukiasemaohjain hoitaa solujen radioresurssien hallinnan. Lisäksi tukiasemaohjain vastaa kanavanvaihtoista oman alueensa solujen välillä, keskittää liikennettä tukiaseman ja keskuksen välillä sekä ohjaa tukiasemien ja matkaviestimien lähetystehot sopiviksi [Meh97]. Tukiasemaohjain ja tukiasemat muodostavat yhdessä tukiasema-alijärjestelmän (BSS, Base Station Subsystem). Tukiasemaohjain liittyy matkapuhelin-keskukseen (MSC).

Transkooderi (TC) on koodausmuunnin, joka muuntaa puheen digitaalisesta koodausmuodosta toiseen [Aht99]. Puhe kulkee matkaviestimeltä tukiasemalle koodattuna 13 kbit/s nopeudella, mutta verkkoalijärjestelmässä käytetään ISDN-verkon mukaista 64 kbit/s nopeudella A-lakikoodattua puheensiirtoa [Aht99]. Transkooderi tekee muunnokset näiden eri puhekoodausmuotojen välillä.

3.3.3 Käytönohjausalijärjestelmä

Käytönohjausalijärjestelmä pitää sisällään käytönohjaus- (OMC, Operation and Maintenance Center) ja verkonhallintakeskukset (NMC, Network Management Center). Kaikki matkapuhelinkeskukset ja tukiasemaohjaimet on liitetty ohjausalijärjestelmään. Järjestelmä valvoo laitteiden toimintaa ja kerää esimerkiksi laskutustiedot GSM-verkon keskuksilta.

3.4 Rajapinnat



Kuva 11: GSM-järjestelmän tärkeimmät rajapinnat [Meh97]

Tärkeimmät rajapinnat on esitelty kuvassa 11. Ilmarajapinta matkaviestimen (MS) ja tukiaseman (BTS) välillä on Um -rajapinta [Meh97]. Tukiaseman ja tukiasemaohjaimen (BSC) välillä on $A-bis$ -rajapinta. Tämän rajapinnan kautta kulkee puhe- ja merkinantodata. Tukiasemaohjaimen (BSC) ja transkooderin (TC) välillä on $A-ter$ -rajapinta, jonka kautta tukiasemaohjain mm. ohjaa puheyhteyksien varauksista.

A -rajapinta sijaitsee transkooderin (TC) ja matkapuhelinkeskuksen (MSC) välillä. Rajapinta sijaitsee tukiasema-alijärjestelmän ja verkkoalijärjestelmän välillä. A -rajapinta välittää puhe- ja merkinantodataa käyttäen 2 048 kbit/s nopeuksisia siirtolinjoja [Meh97]. Yhdellä siirtolinjalla voidaan välittää 32 kanavaa 64 kbit/s nopeudella. Yksi kanava käytetään synkronointia varten, yksi kanava merkinantotiedon välittämiseen (ks. 3.8) ja loput 30 kanavaa puheen välittämiseen.

Yleensä valmistajat toteuttavat vierailijarekisterin (VLR) GSM-keskuksen (MSC) yhteyteen. Rajapinta vierailijarekisterin ja kotirekisterin (HLR) välillä on D -rajapinta. Tämän rajapinnan välityksellä vierailijarekisteri voi muun muassa hakea tilaajan tiedot kotirekisteristä.

GMSC (Gateway MSC) on kauttakulkukeskus eli GSM-keskus, joka vastaa ulkoisten verkkojen – kuten yleinen televerkon (PSTN) – liitännöistä. Kauttakulkukeskus välittää liikenteen muiden verkkojen ja GSM-verkon välillä. Kauttakulkukeskuksen ja kotirekisterin välillä sijaitsee C -rajapinta. Tämän rajapinnan avulla

kauttakulkukeskus voi esimerkiksi hakea kotirekisteristä tarvittavat reititystiedot, kun GSM-verkon tilaajalle tulee ulkoisesta verkosta puhelu.

3.5 Palvelut

Tärkein GSM:n tarjoama palvelu on kaksisuuntainen puhelu kahden käyttäjän välillä [Meh97]. Puhelu voidaan muodostaa kahden GSM-käyttäjän välille tai GSM-käyttäjän ja minkä tahansa yleiseen televerkkoon kytketyn tilaajan välille. Hätäpuhelu on kaikkien verkkojen tarjoama puhepalvelu, jossa valitsemalla yleinen hätänumero 112 voidaan tavoittaa hälytyskeskus ja saadaan apua esimerkiksi poliisilta tai palokunnalta. Toinen yleisesti käytössä oleva puhepalvelu on vastaajapalvelu, jossa soittaja voi tallettaa puheviestin, mikäli GSM-käyttäjää ei esimerkiksi tavoiteta.

GSM välittää piirikytkettyä dataa 9,6 kbit/s nopeudella [Meh97]. Datanvälityksessä voidaan haluttaessa käyttää virheenkorjausta. Suosituksi palveluksi on osoittautunut lyhytsanomien välitys. Lyhytsanomien pituisia ja niitä voi lähettää matkaviestimestä tai matkaviestimeen. Lyhytsanomien voidaan välittää vastaanottajalle matkaviestimen ollessa lepotilassa (idle state) tai puhelun aikana. Jos vastaanottajaa ei tavoiteta, sanoma tallennetaan lyhytsanomakeskukseen ja välitetään perille myöhemmin.

Standardiin on määritelty useita lisäpalveluita kuten erilaiset puheluestot ja puhelusiirrot, puhelun pito, koputus, soittajan numeron näyttö ja neuvottelupuhelu.

Lisäpalveluita ja muita palveluita kehitetään jatkuvasti lisää. Uusi puhepalvelu on vuonna 1998 julkaistu ryhmäpuhelu (VGCS, Voice Group Call Service) [Ets98b], joka esitellään seuraavassa kappaleessa.

3.5.1 Ryhmäpuhelu

GSM-ryhmäpuhelussa (VGCS) käyttäjä muodostaa puhelun etukäteen määriteltyyn ryhmään. Puhe on vuorosuuntaista (semi-duplex) eli yksi käyttäjä kerrallaan saa puheenvuoron [Ets98b]. Ryhmäpuhelu vaatii ominaisuutta tukevan matkaviestimen (MS), jossa on mm. tangentti puheenvuoron pyytämistä varten. Ryhmäpuhelua varten tarvitaan kaksi liikennekanavaa: puheenvuoron saanut käyttäjä puhuu toisella kanavalla (uplink) ja muut kuuntelevat toista kanavaa (downlink). Liikennekanavat voivat olla normaaleja kanavia tai puolinopeuskanavia (half-rate channel), joissa puheenlaatu on hieman huonompi, mutta järjestelmä voi välittää useampia kanavia.

Ryhmällä on tietty ryhmätunnus (group ID), joka tallennetaan ryhmään kuuluvien tilaajien kotirekisteriin (HLR) [Ets98b]. Lisäksi tiedot tallennetaan tilaajan SIM-kortille. Tilaaja voi valita, ovatko SIM-kortille tallennetut ryhmät aktiivikäytössä vai ei. Vain aktiivisiksi valittuihin ryhmiin voi muodostaa puhelun ja kuunnella käynnissä olevia puheluita.

Ryhmän alue voidaan rajoittaa yhden GSM-keskuksen (MSC) alueen sisälle tai se voi koostua monen keskuksen alueesta. Ryhmäpuhelu muodostetaan ryhmän alueen kaikkiin soluihin tai vaihtoehtoisesti vain niihin soluihin, joista järjestelmä on saanut ryhmän jäseniltä kuittauksen. Ryhmäpuhelupalvelu edellyttää myös ryhmäpuhelurekisterin (GCR, Group Call Register) toiminnallisuuden lisäämistä järjestelmään [Ets98b]. Ryhmäpuhelurekisteri tallentaa ryhmäpuheluun liittyvät määrittelyt ja tukee ryhmäpuheluihin liittyvien keskuksien toimintaa puhelun muodostamisessa ja purkamisessa.

Ryhmäpuheluun voi liittyä GSM-matkaviestimien lisäksi päivystäjä, joka voi olla liittynyt myös GSM-verkon ulkopuoliseen verkkoon. Ryhmän alueelle tulevat tilaajat voivat saada tiedon ryhmässä käynnissä olevasta puhelusta ja liittyä siihen mukaan (late entry) [Ets98b]. Mikäli GSM-järjestelmä tukee prioriteettilisäpalvelua, prioriteetteja voidaan hyödyntää myös ryhmäpuhelussa.

GSM-ryhmäpuhelu sopii pienten organisaatioiden tarpeisiin. Tällä hetkellä Ericsson on ainoa valmistaja, joka on toteuttanut GSM-ryhmäpuhelun järjestelmänsä [Eri99]. Vuoden 1999 lopulla Ericsson myi ensimmäiset ryhmäpuheluominaisuudet sisältävät laitteistot [Eri99].

3.6 Matkaviestimen tunnistaminen, puhelunmuodostus ja sijaintitiedon päivitys

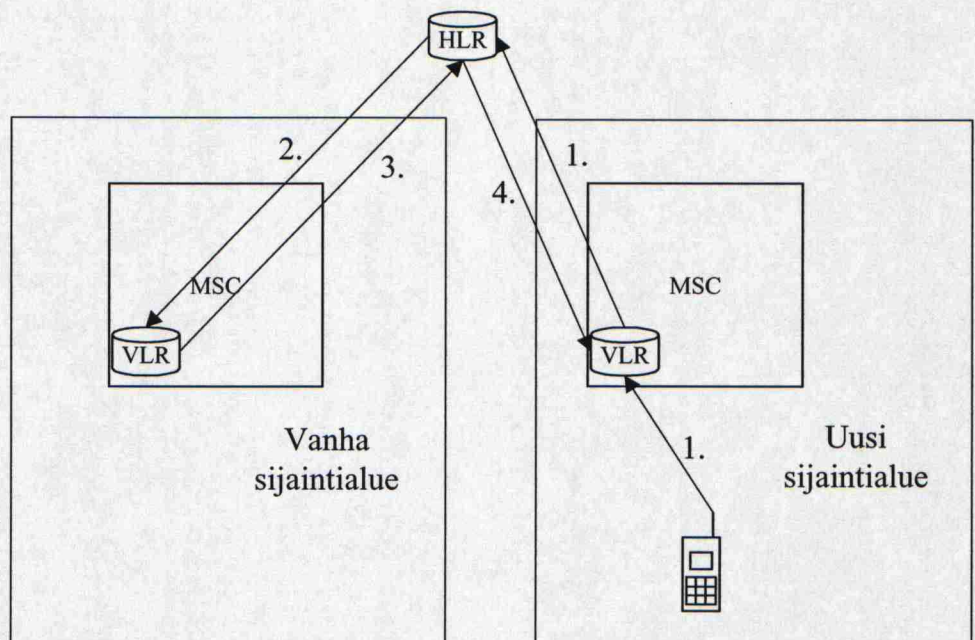
Ennen mitään muuta toimintoa matkaviestimen täytyy synkronoitua GSM-verkon kanssa. Tämä tapahtuu heti, kun matkaviestin laitetaan päälle. Kun matkaviestin on synkronoitunut, se vastaanottaa yleislähetyskanavalta tietoja solusta. Matkaviestin tarkkailee myös muiden solujen yleislähetyskanavia, jotta se voi hyödyntää aina parhaiten kuuluvaa tukiasemaa.

Kun matkaviestimen käyttäjä haluaa muodostaa puhelun, matkaviestin pyytää palvelua tukiasemalta. Tällöin se saa yhteyskohtaisen ohjauskanavan, jolla matkaviestin voi lähettää merkinantosanomia verkolle. Matkaviestin lähettää matkaviestintilaajan tilapäisen tunnuksen (TMSI) tai kansainvälisen matkaviestimen tunnuksen (IMSI), jos vierailijarekisteri (VLR) ei tunnista tilapäistä tunnusta [Meh97]. Jos IMSI-numero ei ole talletettuna vierailijarekisteriin, sen mukaiset tiedot haetaan tilaajan kotirekisteristä (HLR).

Ennen uuden palvelun aloittamista (esimerkiksi puhelua ennen) sekä paikkatiedon päivityksien yhteydessä verkko voi vaatia matkaviestimen tunnistamista (engl. authentication). Matkaviestimelle lähetetään satunnaisluku ja matkaviestin laskee SIM-kortilla olevan tunnistusavaimen ja tietyn algoritmin perusteella vastauksen [Meh97]. Jos tämä vastaus on oikein, matkaviestimen käyttäjä on tunnistettu.

Puheluoikeuden tarkistuksen ja mahdollisen tunnistuksen jälkeen puhelun muodostaminen aloitetaan. Kun B-tilaajan puhelin alkaa soimaan, tieto tästä välitetään A-tilaajan matkaviestimelle. Jos B-tilaaja vastaa, muodostaa matkapuhelinkeskus kaksisuuntaisen yhteyden ja puhelu voi alkaa.

Matkaviestimen sijaintitietoa päivitetään jatkuvasti, jotta tilaajalle soitettaessa osataan hakea matkaviestintä oikeasta paikasta. Kun haettava alue on pieni, ei matkaviestintä tarvitse hakea kovin monessa solussa ja verkon resurssit säästyvät [Meh97]. Sijaintialue voi koostua usean solun alueesta. Matkaviestin tarkkailee koko ajan alueellaan olevien solujen lähetysoimakkuuksia ja tallentaa ne muistiin. Sijaintitiedon päivitys tapahtuu, kun mitatut solutiedot muuttuvat eli matkaviestin liikkuu tai periodisesti, mikäli hetkeen ei ole ollut muuta aktiviteettia [Meh97]. Matkaviestimen sijaintitieto talletetaan vierailijarekisteriin puhelun aikana solun tarkkuudella, muulloin vierailijarekisteri tietää sijainnin sijaintialueen tarkkuudella. Kotirekisteri tietää vain, minkä vierailijarekisterin alueella matkaviestin sijaitsee.



Kuva 12: Matkaviestin siirtyy toisen vierailijarekisterin (VLR) alueelle [Meh97].
 1. Uusi sijaintitieto päivitetään tilaajan kotirekisteriin (HLR), joka 2. kääntää edellistä vierailijarekisteriä poistamaan tilaajan tiedot tietokannastaan. 3. Vanha vierailijarekisteri kuittaa poiston ja 4. kotirekisteri tallentaa tilaajan uuden sijainnin tietokantaansa sekä lähettää tilaajan tiedot uuteen vierailijarekisteriin.

Jos matkaviestin vaihtaa toisen vierailijarekisterin alueelle, uusi sijainti ilmoitetaan tilaajan kotirekisterille, joka puolestaan kääntää vanhaa vierailijarekisteriä poistamaan tilaajan tiedot sekä lähettää tilaajan tiedot uudelle vierailijarekisterille. Vierailijarekisterin vaihtuessa saatetaan matkaviestimen tunnistamisprosessi aloittaa ja matkaviestintilaajan tilapäinen tunnus (TMSI) voi myös vaihtua [Meh97]. Puhelun aikana tapahtuvaa matkapuhelinkeskuksen (MSC/VLR) muutosta ei välitetä heti kotirekisteriin, vaan se ilmoitetaan vasta puhelun päättyttyä.

3.7 Verkkovierailu

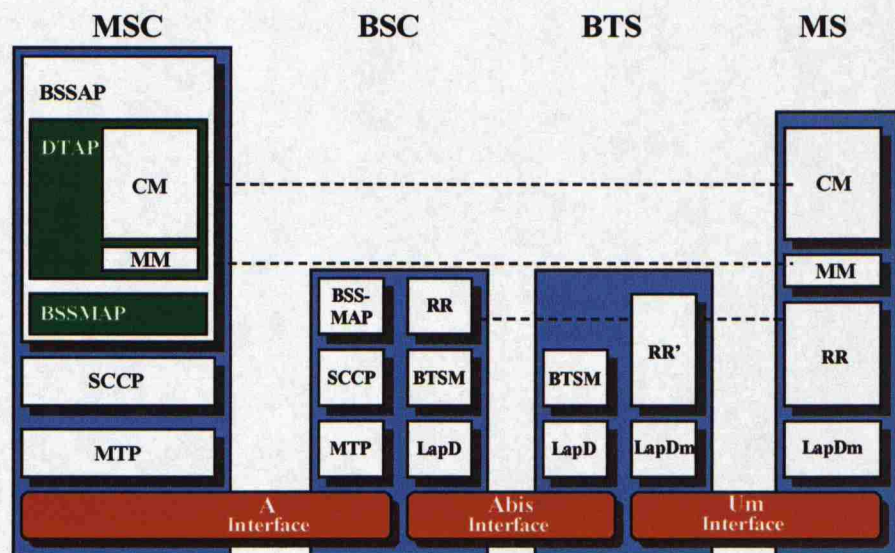
GSM-käyttäjä voi hyödyntää toisen matkapuhelinverkon palveluja, jos verkkojen operaattoreiden välillä on verkkovierailusopimus (engl. roaming). Tällöin käyttäjän laittaessa matkaviestimen päälle siirryttyään esimerkiksi toiseen maahan, matkaviestimen sijaintitieto päivitetään. Tällöin vierailuverkon vierailijarekisteri (VLR) kommunikoi käyttäjän kotiverkon kotirekisterin (HLR) kanssa kuten normaalisti sijainnin päivityksessä MAP (Mobile Application Part) -protokollan avulla. Kotirekisteriin talletetaan sen matkapuhelinkeskuksen numero, jonka alueella käyttäjä sijaitsee.

Kun käyttäjälle tulee puhelu esimerkiksi lankaverkosta, käyttäjän sijaintia kysytään käyttäjän kotirekisteristä. Kotirekisteri kertoo reititysohjeet ja tilaajan verkkovie-railunumeron, joiden perusteella yhteys tilaajaan voidaan muodostaa.

Verkot voivat olla myös eri järjestelmän mukaisia, mikäli ne käyttävät samaa MAP-protokollaa tai mikäli eri MAP-protokollan mukaiset sanomat voidaan kääntää toisen verkon ymmärtämään muotoon [Meh97]. Tällöin voidaan suunnitella matkaviestimiä, jotka toimivat monessa eri järjestelmässä ja järjestelmien erilai-suudesta huolimatta käyttäjän tavoittaa aina samasta numerosta.

3.8 Merkinantoprotokolla-arkkitehtuuri

GSM-järjestelmän toiminnot kuten puhelunhallinta ja sijaintitiedon päivitys väli-tetään järjestelmäkomponenttien välillä erilaisten protokollien eli yhteyskäytän-töjen avulla.



Kuva 13: GSM-järjestelmän merkinantoprotokolla-arkkitehtuuri [Nok97].

Lyhenteet on selitetty alla.

Merkinantokerrokset keskuksesta (MSC) alkaen sisältävät seuraavia yhteyskäyt-
töntöjä [Meh97]:

- MTP (Message Transfer Part) eli sanomansiirto-osa koostuu kolmesta osasta: MTP1 määrittelee fyysiset ja sähköiset liitännät, MTP2 tarjoaa suojatun sano-manvaihdon kahden merkinantopisteen välillä ja MTP3 vastaa sanomien reiti-tyksestä

- SCCP (Signalling Connection Control Part) eli merkinantoyhteyden ohjausosa tarjoaa MTP:n avulla osoite- ja reitityspalvelun merkinantosanomille keskuksen ja tukiasemaohjaimen (BSC) välille
- BSSMAP (Base Station System Management Application Part) eli tukiasemajärjestelmän sovellusosa vastaa radioresurssien hallinnasta keskuksien välisen kanavanvaihdon (handover) yhteydessä, tukiasemaohjaimen (BSC) ja keskuksen (MSC) välisten puhejohtojen hallinnasta sekä puheluihin liittyvän informaation tulkinnasta ja käsittelystä
- DTAP (Direct Transfer Application Part) eli suorasiirto-osa välittää merkinantosanomien matkaviestimen (MS) ja keskuksen välillä
- BSSAP (Base Station System Application Part) on yhteinen nimitys kahdelle edelliselle yhteyskäytännölle eli BSSAP sisältää BSSMAP:in ja DTAP:in toiminnallisuudet
- LAPD (Link Access Protocol for D channel) eli D-kanavan siirtoyhteysproseduuri takaa luotettavan merkinantosanomien tiedonsiirron ISDN:n mukaisella merkinantokanavalla (D-kanavalla) tukiasemaohjaimen (BSC) ja tukiaseman (BTS) välillä
- BTSM (Base Transceiver Station Management) eli tukiaseman hallinnan yhteyskäytäntö välittää ohjausinformaatiota tukiasemaohjaimen ja tukiaseman kesken
- LAPDm (Link Access Protocol for Dm channel) eli Dm-kanavan siirtoyhteysproseduuri, joka takaa luotettavan merkinantosanomien siirron matkaviestimen ja tukiaseman välillä
- RR (Radio Resource management) vastaa radioresurssien hallinnasta
- MM (Mobility Management) siirtää tilaajan sijaintitietoihin, salaukseen ja tunnistukseen liittyvät sanomat
- CM (Connection Management) välittää puheluiden muodostamiseen ja purkamiseen, lyhytsanomiin sekä lisäpalveluihin liittyvät sanomat

3.9 Satelliittimatkapuhelinjärjestelmät ja GSM

Satelliittimatkapuhelinjärjestelmät perustuvat varsinkin maanpäällisten verkkoelementtien osalta GSM-standardiin. ICO ja Globalstar kuuluvat molemmat jäseninä GSM Association:iin, joka tukee ja kehittää GSM-standardia sekä pyrkii edistämään standardin leviämistä maailmalla. GSM Association on tutkinut satelliittijärjestelmien ja GSM:n yhteenliittämistä ja tätä varten on perustettu myös komitea, Satellite Steering Committee (SCC). ICO:n ja Globalstarin lisäksi komiteaan kuuluu maanpäällisten verkkojen operaattoreita.

GSM Association teki vuonna 1996 ICO:n ja Globalstarin kanssa yhteistoimintasopimuksen [Ets96b]. Sopimuksessa yhteistyön tavoitteiksi asetetaan yhteistoimintaesteiden poistaminen maanpäällisten ja satelliittiverkkojen väliltä sekä olemassa olevien ETSI:n standardien ja määritelmien noudattaminen. Satelliittijärjestelmät asettavat erilaisia vaatimuksia järjestelmälle kuin maanpäälliset verkot ja nämä muutokset tai lisäykset käsitellään GSM-standardia kehittämissä työryhmissä.

Satelliittimatkapuhelinjärjestelmien valmistajat sitoutuivat yhteistoimintasopimuksessa [Ets96b] käyttämään järjestelmissään GSM-järjestelmäalustaa (platform). Järjestelmäalusta käsittää muun muassa koti- (HLR) ja vierailurekisterit (VLR), matkapuhelinkeskuksen (MSC), MAP-protokollan, A-rajapinnan ja SIM-kortin.

Liitteenä yhteistoimintasopimuksessa [Ets96b] on SCC:n selvitys verkkovierailusta (roaming) GSM- ja satelliittimatkapuhelinjärjestelmien välillä. Dokumentissa todetaan, että kanavanvaihtoa (handover) ei ole järjestelmien välillä puhelun aikana. Tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi käyttäjän siirtyessä puhelun aikana GSM-verkon peittoalueen ulkopuolelle, puhelu ei siirry satelliittijärjestelmään vaan puhelu katkeaa.

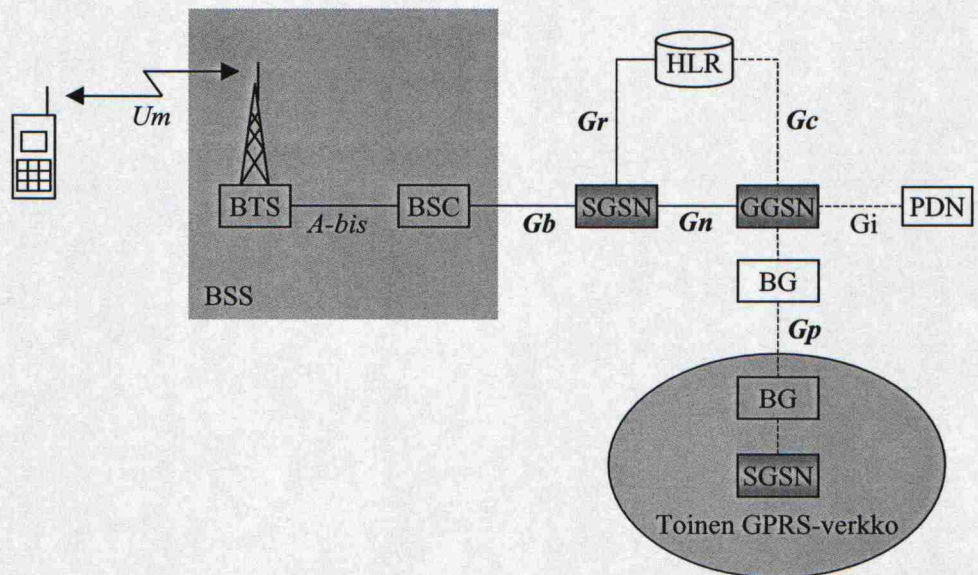
3.10 GPRS

GPRS (General Packet Radio Service) on pakettikytkentäinen GSM-standardiin kuuluva datapalvelu, joka tarjoaa nopean ja tehokkaan välitystavan purskeisen datan välitykseen. GPRS kuuluu GSM:n vaiheen 2+ standardisointiin, joka alkoi vuonna 1994 [Cai97]. GPRS-palveluun liittyvä standardi valmistui vuonna 1998 [Aht99].

GPRS hyödyntää GSM-järjestelmän fyysistä tasoa, jolloin TDMA-kehysrakenne, modulaatiotekniikka ja aikavälit ovat samoja kuin puheen ja piirikytkentäisen datan välityksessä [Cai97]. GPRS-palvelua tukeva matkaviestin voi käyttää dynaamisesti yhdestä kahdeksaan aikaväliä silloin, kun paketteja on välitettävänä. Tällöin suurin

saavutettava siirtonopeus on ilman virheenkorjausta 171,2 kbit/s [Aht99]. Pakettikytkentäisenä järjestelmänä GPRS:n laskutus perustuu siirretyn datan määrään.

Vaikka GPRS käyttää samaa fyysistä tasoa, edellyttää GPRS-palvelun tarjoaminen uusia verkkoelementtejä sekä joitain muutoksia olemassa oleviin verkkoelementteihin. Verkkoelementit ja tärkeimmät rajapinnat on esitelty kuvassa 14.



Kuva 14: GPRS-järjestelmän verkkoelementit ja rajapinnat [Ets98c]. Lyhenteet on selitetty tekstissä.

Kaksi uutta verkkoelementtiä ovat SGSN (Serving GPRS Support Node) ja GGSN (Gateway GPRS Support Node). SGSN on GPRS-verkon pääkomponentti, joka vastaa esimerkiksi tilaajien liikkuvuuden hallinnasta, tunnistuksesta (engl. authentication) ja tilaajan GPRS-spesifisistä tiedoista. SGSN huolehtii alueellaan olevien tilaajien GPRS-palveluista, tekee protokollamuunnokset GPRS-verkon ja matkaviestimen välillä sekä välittää paketit matkaviestimeen [Aht99].

GGSN vastaa liittynöistä ulkoisiin verkkoihin, esimerkiksi Internetiin tai yleiseen dataverkkoon (PDN) [Aht99]. GGSN reitittää ulkoisista verkoista GPRS-käyttäjälle lähetetyt paketit sille SGSN:lle, jonka alueella käyttäjä sillä hetkellä sijaitsee. Vastaavasti käyttäjältä tulevat paketit GGSN reitittää oikeaan verkkoon.

Tukiasema-alijärjestelmä (BSS) vaatii myös päivittämistä. Tukiasemaohjain (BSC) käyttää uusia GPRS-protokollia eli yhteyskäytäntöjä merkinanto- ja tilaajainformaation välityksessä SGSN:n kanssa [Aht99]. Myös tukiasemaohjaimen ja tukiaseman (BTS) välinen A-bis-rajapinta täytyy päivittää. Kotirekisteriin (HLR) lisätään GPRS-palvelussa tarvittavat tiedot.

GPRS-verkot liittyvät toisiinsa BG (Border Gateway) -verkkoelementtien kautta. BG vastaa turvallisuuteen liittyvistä toiminnoista verkkojen välillä [Ets98c]. GPRS-standardissa ei oteta kantaa BG:n toteutukseen: liitettäessä GPRS-verkkoja yhteen verkkoelementin toiminnot määritellään verkkojen operaattoreiden kesken [Ets98c]. Kun käyttäjä siirtyy toisen GPRS-verkon alueelle, tämän verkon SGSN-verkkoelementti hakee käyttäjän tiedot käyttäjän kotiverkosta. Verkkojen välisen liitännän avulla IP-konteksti voidaan ohjata toisen verkon SGSN-verkkoelementin kautta käyttäjän kotiverkon GGSN-verkkoelementtiin.

GPRS-järjestelmän tärkeimmät rajapinnat ovat [Aht99]:

- Gb-rajapinta sijaitsee SGSN:n ja tukiasema-alijärjestelmän (BSS) välillä. Tämän kehysvälitykseen (frame relay) perustuvan rajapinnan kautta siirretään GPRS-liikennettä ja -merkinantoinformaatiota GSM:n radioverkon ja GPRS-osan välillä
- Gr-rajapinta on SGSN:n ja kotirekisterin (HLR) välillä. Rajapinnan avulla SGSN voi hakea tilaajaa koskevat tiedot kotirekisteristä, joka voi sijaita myös toisessa GSM-verkossa
- Gn on rajapinta kahden samassa verkossa olevan GSN:n (GGSN:n ja SGSN:n tai kahden GGSN:n tai SGSN:n) välillä. Rajapinnan välityksellä GGSN- ja SGSN-verkkoelementit voivat vaihtaa tietoa IP (Internet Protocol) -protokollaan perustuvan runkoverkon yli. Gn-rajapinnalla käytetään GTP (GPRS Tunneling Protocol) -yhteyskäytäntöä, joka siirtää sekä käyttäjä- että merkinantoinformaatiota
- Gc on valinnainen rajapinta GGSN:n ja kotirekisterin (HLR) välillä. Rajapinnan avulla GGSN voi tiedustella tilaajan sijaintia kotirekisteristä
- Gp on itsenäisten GPRS-verkkojen välinen rajapinta, jonka avulla siirretään sanomia verkosta toiseen. Gp-rajapinta vastaa toiminnaltaan verkkojen sisäistä Gn-rajapintaa, joka liittää kaksi GSN-verkkoelementtiä yhteen
- Gi ei ole varsinainen standardissa määritelty rajapinta vaan viitekohta (reference point) GGSN:n ja ulkoisen verkon välillä. Ulkoinen verkko voi perustua hyvin moneen eri teknologiaan, jonka takia rajapintaa ei ole määritelty standardiin

4. SATELLIITTIJÄRJESTELMÄT GLOBALSTAR JA ICO

Kappaleessa selvitetään, miksi kaksi maailmanlaajuista satelliittimatkapuhelinjärjestelmää, Globalstar ja ICO rakennettiin, mistä osista järjestelmät koostuvat ja mitä eroja Globalstarin ja ICO:n välillä on. Lisäksi kuvataan lyhyesti järjestelmien tärkeimmät rajapinnat sekä järjestelmien tarjoamat palvelut.

Satelliittimatkapuhelinjärjestelmien (MSS, Mobile Satellite System) suunnittelu alkoi 1980- ja 1990-lukujen vaihteessa. Maanpäälliset matkapuhelinverkot alkoivat tuolloin yleistyä, mutta eri maanosissa käytettiin erilaisia, yhteensopimattomia järjestelmiä. Matkapuhelinverkot olivat pieniä ja paikallisia; satelliittimatkapuhelinjärjestelmä nähtiin mahdollisuutena tarjota kattavat telepalvelut kaikkialle maailmaan. Harvaan asutuille alueille ei taloudellisesti kannata koskaan rakentaa maanpäällistä verkkoa, jolloin satelliittimatkapuhelinjärjestelmä koettiin ainoaksi järkeväksi mahdollisuudeksi telepalveluiden välittämiseksi.

Satelliittimatkapuhelinjärjestelmien käyttäjäkunnan on arvioitu koostuvan seuraavista osa-alueista [Ovu96]:

- Matkustavat liikemiehet, jotka käyttävät ahkerasti tele- ja datapalveluita kaikkialla maailmassa. He ovat valmiita maksamaan laadukkaista palveluista kohtuullisen suuriakin summia.
- Maanpäällisten puhelinverkkojen ulkopuolella käyttäjät siirtyvät satelliittijärjestelmään, joka toimisi maanpäällisen verkon jatkeena. Käyttäjät ovat hyvin hintatietoisia eivätkä tarvitse palveluita usein.
- Telepalveluiden kannalta kehittymättömien alueiden käyttäjille satelliittijärjestelmä on yksinkertainen tapa tarjota peruspalvelut. Esimerkiksi kehitysmaihin on suunniteltu kyläpuhelimia, joista asukkaat voivat soittaa puheluita satelliittijärjestelmän välityksellä. Puheluiden tulee olla melko edullisia, jotta järjestelmä saisi käyttäjiä.
- Laiva-, lento- ja maaliikenteessä, katastrofialueilla, kaukaisilla tehtailla ja öljynporauslautoilla työskentelevät sekä seikkailu- ja urheilulajeja harrastavat ihmiset. Tämä on perinteinen osa-alue, joka muodostaa suurimman osan nykyisten satelliittipuhelinjärjestelmien käyttäjistä.

Globalstar- ja ICO-satelliittimatkapuhelinjärjestelmät suunniteltiin täyttämään edellä lueteltujen asiakasryhmien tarpeita. Ensimmäiseksi ehti markkinoille kuitenkin kolmas järjestelmä, yhdysvaltalaisen Motorolan ja japanilaisen DDI:n Iridium-

järjestelmä vuonna 1998 [Iri00]. Iridium oli kallis ja uutta teknologiaa sisältävä järjestelmä, joka 5 miljardin dollarin kustannuksien peittämiseksi valitsi markkinointikohteekseen liikemiesmatkustajat. Iridium saavutti kolmen dollarin minuuttihinnallaan vain murto-osan suunnitellusta käyttäjämäärästä ja kaatui lopullisesti konkurssiin 17.3.2000, jolloin maailmanlaajuinen palvelu lopetettiin [Ano00a]. 66 Iridium-satelliittia tuhotaan lähikuukausina ohjaamalla ne palamaan ilmakehässä.

Yhdysvaltalaiset satelliittivalmistaja Loral Space & Communications ja tietoliikenneyritys Qualcomm Inc. rakensivat Globalstar-järjestelmän. Globalstar aloitti palvelun Pohjois-Amerikassa vuoden 2000 alussa, huhtikuussa 2000 palvelua on tarkoitus laajentaa Etelä-Amerikassa, Euroopassa ja Aasiassa ja vuoden lopussa järjestelmä tavoittaisi 80 prosenttia maailman ihmisistä [Glo00]. Suomessa Radiolinja aloitti Globalstar-palveluiden tarjoamisen 3.4.2000 [Ast00]. Maa-asemineen arviolta 3,8 miljardia dollaria maksava järjestelmä [Ruo99] tukee ensisijaisesti maanpäällisten verkkojen käyttäjiä, jotka liikkuvat omien verkkojensa ulkopuolella. Lisäksi palveluita aiotaan markkinoida kehitysmaille sekä laiva-, lento- ja maa liikenteen parissa ja esimerkiksi öljynpora-autoilla työskenteleville.

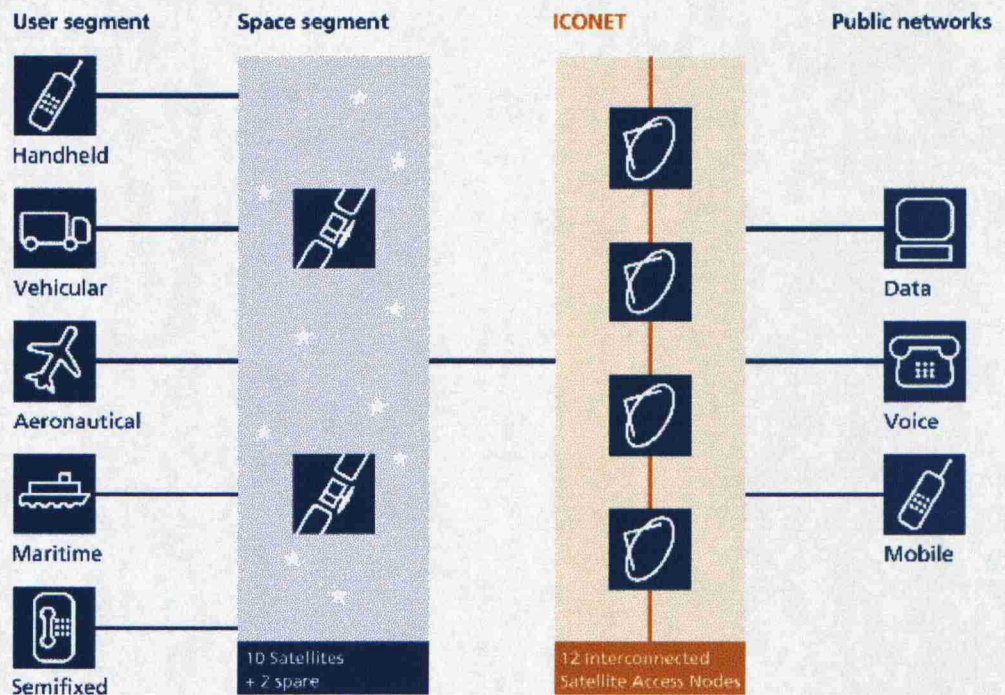
Globalstar arvioi käyttäjämääräkseen miljoona tilaajaa vuoden 2000 lopussa ja vuonna 2002 käyttäjiä olisi jo kolme miljoonaa [Luk99]. Satelliittianalyitikko Rob Kaimowitz arvioi tilaajamäärien olevan huomattavasti pienempiä: 150 000 tilaajaa vuoden 2000 lopussa ja 1,25 miljoonaa tilaajaa vuonna 2002 [Ano00b]. Puheluhinnat ovat tällä hetkellä 1,5 dollaria minuutilta paikallispuheluissa ja 3 dollaria minuutilta kansainvälisissä puheluissa.

ICO-järjestelmän piti alunperin aloittaa palvelu jo vuonna 2000, mutta se ajautui Iridiumin perässä rahoitusvaikeuksiin ja taloudelliseen selvitystilaan. ICO-järjestelmän osti Teledesic, joka aikoo tarjota laajakaistaista datapalvelua satelliittien välityksellä kaikkialle maailmaan vuonna 2004. ICO pelastui konkurssilta ja poistui virallisesti taloudellisesta selvitystilasta 17.5.2000 [Ico00]. Maksamalla 1,2 miljardia dollaria Teledesic sai haltuunsa kolme neljäsosaa ICO:sta, vähemmistöomistajina ovat mm. kanadalainen TRW, satelliittivalmistaja Hughes sekä suuri joukko teleoperaattoreita ympäri maailman [Ico00].

Ensimmäinen ICO-satelliitti laukaistiin 12.3.2000, mutta satelliitti tuhoutui epäonnistuneen laukaisun takia [Ico00]. Omistajavaihdoksen takia ICO-järjestelmä tulee vielä muuttumaan, mutta järjestelmä tulee maksamaan noin 7 miljardia dollaria [Sel00]. ICO:n päämarkkinoiksi suunniteltiin aikoinaan sekä maanpäällisten verkkojen tukemista että liikematkustajien palvelemista, mutta myös kehittyväntöimien

alueitten ja erikoisryhmien palveluiden taloudellinen merkitys on ICO:n mukaan suuri [Ico97]. ICO:n painopiste siirtynee Teledesicin myötä enemmän datapalveluiden tarjoamiseen telepalveluiden sijasta. ICO-järjestelmän on tarkoitus aloittaa vuonna 2002 [Ico00].

Satelliittimatkapuhelinjärjestelmä jakautuu kolmeen osaan: satelliitti-, käyttäjä- ja maasegmenttiin, jotka on esitelty kuvassa 15. Satelliittisegmentin muodostavat aktiiviset satelliitit ja varalla olevat satelliitit, jotka voidaan siirtää samalla satelliittiradalla olevan vioittuneen satelliitin tilalle. Käyttäjäsegmentti pitää sisällään päätelaitteet. Lisäksi satelliittien ja päätelaitteiden välinen ilmarajapinta on käsitellään tässä työssä käyttäjäsegmentin osana. Maasegmenttiin kuuluvat maa-asemat, yhdyskäytävät muihin verkkoihin sekä verkonhallinta- ja satelliittiohjauskeskukset.



Kuva 15: Satelliittimatkapuhelinjärjestelmä ICO:n jakautuminen käyttäjä-, avaruus- ja maasegmenttiin [Ico00]. Kuvassa ICONET ja liitännät ulkoisiin verkkoihin muodostavat maasegmentin.

4.1 Satelliittisegmentti

Satelliittien ratakorkeuden mukaan satelliittiradat voidaan jakaa eri ryhmiin. Alla on esitelty kolme tärkeintä satelliittiratatyyppiä.

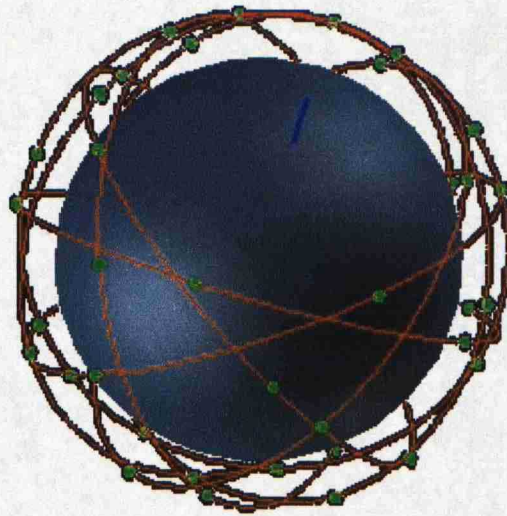
LEO (Low Earth Orbit) tarkoittaa satelliittirataa, jonka korkeus on muutaman sadan ja 2 000 kilometrin välillä. Alle muutaman sadan kilometrin korkeuteen satelliittia ei kannata sijoittaa, sillä muuten ilmakehän vaikutuksesta satelliitti menettää

korkeuttaan. Ylärajan muodostaa maan magneettikentän kaappaamista ioneista koostuva Van Allenin ensimmäinen säteilyvyöhyke, joka vaatisi erikoissuojaukset säteilyä vastaan ja nostaisi huomattavasti satelliitin hintaa. Jos satelliittijärjestelmän halutaan toimivan kaikkialla maapallolla, tarvitaan näillä matalilla radoilla kymmenistä satoihin satelliitteja. Globalstar ja edesmennyt Iridium käyttävät LEO-satelliittiratoja.

MEO (Medium Earth Orbit) on satelliittirata noin 10 000 kilometrin korkeudella. Rata sijaitsee Van Allenin ensimmäisen ja toisen säteilyvyöhykkeen välissä, jolloin satelliittien säteilykuorma pysyy melko pienenä. Maapallon täydelliseen peittoon näiltä satelliittiradoilta tarvitaan 10 - 12 satelliittia. ICO-järjestelmän satelliittiradat kuuluvat MEO-ratoihin.

GEO (Geosynchronous Earth Orbit) eli geostationäärinen rata on päiväntasaajan yläpuolella oleva satelliittirata, jolla oleva satelliitti pysyy maasta katsoen paikallaan. Tämä johtuu siitä, että maanpinnalta 35 786 kilometrin korkeudella olevan satelliitin kiertonopeus maapallon ympäri on täsmälleen sama kuin maapallon pyörimisnopeus. Vain kolme satelliittia riittää maapallon peittämiseen, mutta koska rata on päiväntasaajan yläpuolella, jäävät 75 asteen leveyspiirien napojen puoleiset alueet peittoalueen ulkopuolelle. Perinteiset tietoliikennesatelliitit toimivat geostationäärisillä radoilla. Tällaisia ovat esimerkiksi Inmarsat ja Intelsat.

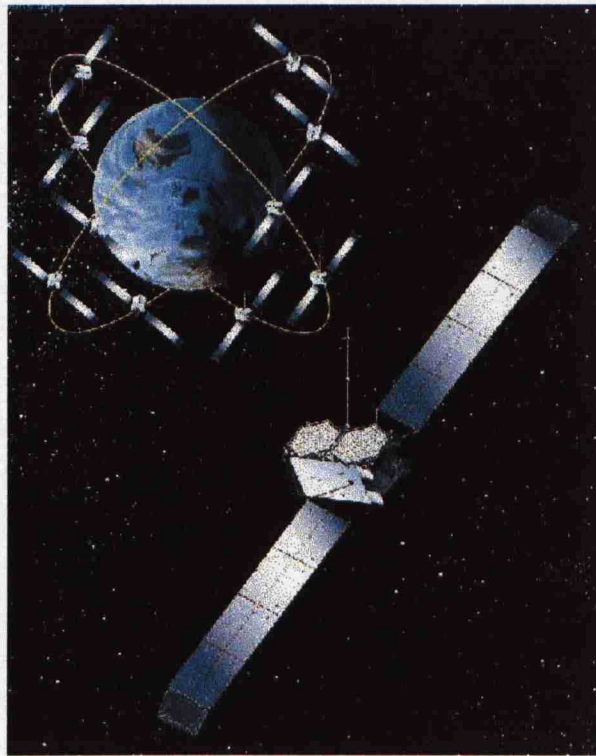
Globalstar-satelliitit ovat 1 414 kilometrin korkeudella [Woo00]. Satelliitteja on kahdeksalla eri radalla kuusi rataa kohti eli yhteensä satelliitteja on 48. Lisäksi jokaisella radalla on varasatelliitti, jolloin varasatelliitteja on siis kahdeksan. Ratojen välinen kulma päiväntasaajaan eli inkliinaatio on 52° . Matalan ratakorkeuden ja siihen nähden pienen inkliinaation takia Globalstar-järjestelmä ei toimi kaikkialla maailmassa, vaan peittoalueena on 70 asteen leveyspiirien välinen alue. Pohjoisessa järjestelmän toiminta-alueen raja kulkee Suomen pohjoisrajalta, Venäjän Siperian pohjoisosasta ja Alaskan pohjoisrannikon kautta Kanadan mannerosan pohjoispuolelle: rajasta pohjoiseen järjestelmää ei voi käyttää. Etelässä järjestelmä toimii muualla paitsi Etelämantereella.



Kuva 16: Globalstar-järjestelmän satelliittiradat peittävät maapallon napojen lähialueita lukuun ottamatta [Woo00].

Globalstar-satelliittijärjestelmä hyödyntää useamman satelliitin näkymistä yhtä aikaa. Tällöin käyttäjän ja satelliitin välillä olevat maastoesteet eivät katkaise yhteyttä, vaan yhteydenlaatua tarkkaillaan kaikkiin näkyvillä oleviin satelliitteihin ja päätelaite käyttää aina parhaiten näkyvää satelliittia. Paras palvelun laatu on leveyspiirien 25° ja 50° välillä, jolloin näkyvissä on koko ajan kaksi satelliittia yhtäaikaan [Glo95]. Päiväntasaajalta 60° leveyspiirille todennäköisyys kahden satelliitin yhtäaikaiselle näkymiselle on 80 prosenttia. Järjestelmässä satelliitit eivät käsittele välittämäänsä informaatiota ollenkaan, vaan satelliitin transponderi lähettää kaiken vastaanottamansa eri lähetystaajuudella maahan.

ICO-järjestelmän satelliitit sijaitsevat 10 390 kilometrin korkeudella [Ico00] eli MEO-satelliittiradoilla. Satelliitteja on kahdella radalla viisi kummallakin eli yhteensä kymmenen. Lisäksi varasatelliitteja on kaksi, yksi kummallakin radalla. Satelliittiratojen inklinaatio on 45° , jolloin ratatasojen väliseksi kulmaksi muodostuu 90° . Koska satelliitit sijaitsevat melko korkealla ja kunkin peittoalue on noin 30 prosenttia maapallosta, satelliitteja on lähes aina näkyvillä vähintään kaksi kaikkialla maailmassa [Hug00].



Kuva 17: ICO-satelliitit sijaitsevat kahdella keskikorkealla satelliittiradalla [Ico00]. Kuvaan on lisätty myös lähikuva satelliitista.

Palvelun laadun pitäisi säilyä kaikissa olosuhteissa: jos parhaiten näkyvä eli korkeimmalla oleva satelliitti on alle 30 asteen korkeudella horisontista, peittoaluesimulaatioiden mukaan [Mat99] tällöin on näkyvissä vähintään kolme satelliittia. Monen satelliitin yhtäaikaista näkymisestä on hyötyä, koska ICO-järjestelmässä yhteyden laatua kaikkiin satelliitteihin tarkkaillaan ja joka hetkellä valitaan paras yhteys. Kuten Globalstar-järjestelmässä, ICO-satelliitit eivät käsittele välittämäänsä liikennettä – käsittely tapahtuu maa-asemilla.

Taulukko 1: Satelliittimatkapuhelinjärjestelmien vertailu satelliittisegmentin tärkeimpien ominaisuuksien osalta [Ico00, Glo00, Woo00].

	Globalstar	ICO
Satelliittien ratakorkeus (km)	1 414	10 390
Satelliittiratojen lukumäärä	8	2
Satelliittien lukumäärä	48 + 8	10 + 2
Peittoalue maapallolla	+/- 70° leveyspiirien välillä	globaali
Satelliittien kiertoaika (min)	114	360
Satelliitti horisontin yläpuolella (min)	16	116
Ilmatien viive satelliittiin edestakaisin (ms)	9	70
Satelliitin koko ilman aurinkopaneeleita (k x l x p, metriä)	noin 1,8 x 1,2 x 0,6	4,7 x 2,3 x 2,3
Satelliitin paino (kg)	450	2 600
Satelliitin teho (W)	1 000	8 700
Satelliitin elinikä (v)	7,5	12

Globalstarin käyttämällä matalilla radoilla satelliitteja tarvitaan huomattavasti ICO:a enemmän, eikä silti peittoalue kata koko maapalloa. Jos satelliittiyhteys halutaan taata kaikissa olosuhteissa, pitäisi kaikkialla maailmassa olla aina näkyvillä useita satelliitteja samanaikaisesti. ICO-järjestelmä takaa tästä johtuen keskimäärin paremman yhteyden laadun kuin Globalstar.

Matalammalla radalla satelliittien kiertoaika maapallon ympäri on pienempi ja satelliitti on sen vuoksi vähemmän aikaa kerrallaan näkyvillä horisontin yläpuolella. Globalstar-satelliittien kiertoaika on hieman alle kaksi tuntia ja ICO-satelliiteilla kuusi tuntia. Mikäli Globalstar-satelliitti lentää suoraan käyttäjän yläpuolelta, satelliitti on horisontin yläpuolella 16 minuuttia. Satelliitin nopeus maanpintaan nähden on siis huomattavan suuri, jolloin järjestelmäsuunnittelun ongelmana on Doppler-siirtymä. Tällä tarkoitetaan lähetystaajuuden muuttumista, kun lähettäjä ja vastaanottaja liikkuvat toisiinsa nähden tietyllä nopeudella. ICO-järjestelmässä satelliitti on horisontin yläpuolella lähes kaksi tuntia. Satelliitin hitaammasta nopeudesta johtuen Doppler-siirtymä on huomattavasti pienempi.

Mitä nopeammin satelliitti kulkee käyttäjän horisontin alapuolelle, sitä useammin täytyy järjestelmässä suorittaa kanavanvaihtoja (handover) satelliittien välillä. ICO-järjestelmässä kanavanvaihtoja satelliittien välillä ei tavallisen muutaman minuutin puhelun aikana todennäköisesti tapahdu lainkaan.

Molemmissa järjestelmissä puhe kulkee päätelaitteesta satelliittiin ja satelliitista maa-asemalle. Jos viive tällä edestakaisella matkalla on kovin pitkä, se häiritsee puhumista. Globalstar-järjestelmän 9 millisekunnin viive ilmatieellä ei ole missään tapauksessa ongelma. ICO-järjestelmässä puhelu satelliittitilaajan ja yleisen televerkon välillä aiheuttaa vain 70 millisekunnin viiveen ilmatien osalta, mutta jos molemmat tilaajat käyttävät ICO-järjestelmää, viive kasvaa 140 millisekuntiin. Tämän suuruisen viiveen voi jo huomata, mutta sekään ei ole vielä häiritsevää. Edellä mainittujen viiveiden lisäksi puhesignaalin prosessointi päätelaitteessa ja maa-asemalla sekä maaverkon siirtoviiveet lisäävät kokonaisviivettä.

Koska ICO-satelliitit sijaitsevat huomattavasti kauempana maanpinnasta, ICO-satelliitit ovat huomattavasti suurempia ja painavampia kuin Globalstar-satelliitit. Pidemmällä matkalla vapaan tilan vaimennus on suurempi ja ICO-järjestelmässä tarvitaan tästä syystä suuremmat lähetys- ja vastaanottoantennit sekä suurempi lähetysteho. ICO-satelliitteja voidaan laukaista kerrallaan yksi, mutta pienempiä Globalstar-satelliitteja mahtuu kantorakettiin kerrallaan 4 - 12 [Woo00]. Korkeammat radat ovat vakaampia ja säteilykuorma on pienempi, jonka takia satelliittien odotettu elinikä on ICO-satelliiteilla suurempi.

4.2 Käyttäjäsegmentti

Käyttäjäsegmenttiin kuuluvat päätelaitteet ja tässä työssä päätelaitteiden ja satelliittien välinen ilmarajapinta käsitellään käyttäjäsegmentin yhteydessä.

4.2.1 Ilmarajapinta satelliitin ja päätelaitteiden välillä

Globalstar-järjestelmä käyttää ilmarajapinnalla satelliitin ja päätelaitteen välillä 1,6 GHz:n ja 2,5 GHz:n taajuuskaistoja. Päätelaitteesta satelliittiin on varattu taajuusalue 1 610,73 - 1 625,49 MHz ja satelliitista päätelaitteeseen 2 484,39 - 2 499,15 MHz [Glo99]. Lisäksi ilmarajapinnalla satelliitin ja maa-aseman välillä käytetään 5/7 GHz:n taajuusaluetta. ICO-järjestelmälle on puolestaan varattu 2 170 - 2 200 MHz:n taajuusalue päätelaitteesta satelliittiin ja 1 980 - 2 010 MHz:n taajuudet satelliitista päätelaitteeseen [Woo00]. Myös ICO käyttää satelliitin ja maa-aseman välillä 5/7 GHz:n taajuusaluetta. Kansainvälisesti määriteltujen taajuuksien lisäksi molemmat järjestelmät tarvitsevat toimiluvat kaikista maista, joissa ne haluavat tarjota palveluita.

Taajuuskaistalla käyttäjät jaetaan eri kanaville Globalstar-järjestelmässä koodijakomultipleksoinnin (CDMA, Code Division Multiple Access) avulla [Woo00]. Tässä varsinkin satelliittialalla harvinaisessa tekniikassa kaikki päätelaitteet lähettävät tietyllä laajalla taajuuskaistalla, mutta lähetykset koodataan jokaisen omalla koodiavaimella. Vastaanotin erottaa samalla koodilla tietyn lähetteen ja muut lähetteet ovat vastaanotossa vain satunnaiskohinaa. Globalstar-järjestelmässä koko järjestelmän käytössä oleva noin 25 MHz:n lähetys- ja vastaanoton taajuusalue on jaettu 1,25 MHz:n kanaviin [Eva98], joilla päätelaitteet lähettävät tai vastaanottavat.

ICO-järjestelmä käyttää perinteisempää taajuus- ja aikajakoista multipleksointia (FDMA/TDMA). ICO:n taajuuskaista jaetaan 25,2 kHz:n kanaviksi, jotka puolestaan sisältävät kuusi aikaväliä [Eva98]. Aikaväli on 40 millisekunnin pituinen eli päätelaite lähettää tai vastaanottaa tuon ajan ja sen jälkeen vuoro siirtyy seuraavan aikavälin saaneelle päätelaitteelle. Lähetys ja vastaanotto tapahtuu eri taajuusalueella.

CDMA-tekniikan etuja ovat lähetyksessä tarvittava pienempi teho laajan taajuuskaistan ansiosta, siirtonopeuden säätömahdollisuus yhteyden laadun muuttuessa, monitie-etenemisen aiheuttamat häiriöt ovat pienempiä ja multipleksoinnissa käytettävät triljoonat eri koodit toimivat tehokkaana salauksena [Ric99]. TDMA-tekniikka on puolestaan varma, kauan käytössä koeteltu tekniikka, jonka etuja ovat helpompi kapasiteetin hallinta verkossa ja satelliitin lähetystehon parempi hyödyntäminen [Ric99]. CDMA-tekniikan suurin ongelma on lähellä-kaukana-efekti [Ric99]. Tämä tarkoittaa sitä, että vastaanotinta lähempänä oleva lähetin peittää kauempana olevan lähettimen signaalin. Efektin kumoamiseksi päätelaitteiden täytyy tarkkailla yhteyden laatua koko ajan ja aktiivisesti säätää omaa lähetystehoaan havaintojen perusteella. TDMA-tekniikassa päätelaitteen lähetystehoa satelliittiin ei tarvitse välttämättä säätää ollenkaan [Ric99].

Yksi suunnittelua helpottava ero CDMA-tekniikkaa käyttävän Globalstar-järjestelmän hyväksi on kanavanvaihtojen (handover) automaattisuus. CDMA-tekniikassa satelliitit vastaanottavat signaaleja koko järjestelmän taajuusalueelta, jolloin jokainen käyttäjän näkyvillä oleva satelliitti vastaanottaa lähetetyn signaalin ja välittää sen maa-asemalle. Maa-asemalla käytetään parasta vastaanotettua signaalia, jolloin kanavanvaihto toiseen antennikeilaan tai satelliittiin tapahtuu automaattisesti. TDMA-tekniikkaa käyttävässä ICO:ssa kanavanvaihto vaatii prosessointia satelliitissa tai maa-asemalla.

Puhe koodataan Globalstar-järjestelmässä vaihtelevalla nopeudella järjestelmässä käytettävissä olevan kapasiteetin mukaan: jos käyttäjiä on vähän, puhe koodataan paremman puheenlaadun tuottavalla 9,6 kbit/s nopeudella, ja jos käyttäjiä on paljon, puheenkoodausnopeus voidaan pudottaa aina 1,2 kbit/s asti puheen laadun kustannuksella [Glo95]. ICO-järjestelmässä koodatun puheen nopeus on vakio 4,8 kbit/s [Eva98]. Molemmissa järjestelmissä koodattu puhe tai data siirretään satelliitista päätelaitteeseen QPSK (Quaternary Phase Shift Keying) -modulaatiota käyttäen [Glo95, Ico98]. Tämä modulaatio perustuu neljän eri vaihearvon käyttämiseen eli kaksi bittiä voidaan välittää yhdellä vaihetiedolla, jolloin symbolinopeus on puolet bittinopeudesta. Päätelaitteesta satelliittiin molemmat järjestelmät käyttävät GSM-järjestelmästä tuttua GMSK-modulaatiota, jota käyttäen symbolinopeus on sama kuin bittinopeus.

Yhteyden laatuun ja palveluiden käytettävyyteen vaikuttaa linkkimarginaali. Tämä tarkoittaa esimerkiksi päätelaitteesta satelliittiin toimivan radiolinkin tehobudjettia. Linkkibudjettiin vaikuttaa mm. lähetysteho, antennien koko, radiolinkin pituus ja taajuus. Linkkibudjetin perusteella saadaan linkkimarginaali, joka kertoo desibeleinä, kuinka paljon signaali voi esimerkiksi maastoesteen vuoksi vaimentua ennen kuin yhteys lakkaa toimimasta.

Vapaan tilan vaimennus on ICO-järjestelmässä huomattavasti suurempi, sillä signaali kulkee lyhimmillään 10 390 kilometrin matkan Globalstarin 1 440 kilometrin sijaan. Tämä kompensoidaan ICO-järjestelmässä huomattavasti suuremmilla satelliitin lähetys- ja vastaanottoantenneilla sekä käyttämällä suurempia lähetystehoja satelliitissa. Näistä syistä johtuen ICO-satelliitti on paljon isompi kuin Globalstar-satelliitti. Linkkimarginaalien molempien järjestelmien valmistajat ilmoittavat kuitenkin olevan samaa luokkaa: Globalstar-järjestelmässä linkkimarginaali on 11 dB ja ICO:ssa 10 dB [Eva98]. Professori J. Evans väittää, että suurella käyttäjämäärällä Globalstar-järjestelmän linkkimarginaali tippuu vain 3 - 6 dB suuruisiksi ja vain hyvin pienellä käyttäjämäärällä linkkimarginaali on 11 dB [Eva98].

Joka tapauksessa linkkimarginaali on molemmissa järjestelmissä niin pieni, että puhelinta voi käyttää vain ulkona. Rakennuksen sisällä lisävaimennus voi olla 30 - 40 dB, jolloin on selvää, että satelliittijärjestelmän 10 dB:n linkkimarginaali ei riitä. Jos ikkunasta on esteetön näkyvyys satelliittiin, voi yhteys sisällä ikkunan vieressä silti toimia. Molemmissa järjestelmissä voidaan kuitenkin välittää suurempaa lähetystehoa käyttäen tekstiviestejä tai ilmoittaa käyttäjälle, että puhelu on tulossa. Käyttäjä voi tällöin siirtyä paikkaan, jossa satelliittiyhteys on mahdollinen.

4.2.2 Päätelaitteet

Molemmissa järjestelmissä käsipuhelin-päätelaitteet toimivat sekä satelliittijärjestelmässä että jossain maanpäällisessä matkapuhelinverkossa. Päätelaitte käyttää ensisijaisesti maanpäällistä matkapuhelinverkkoa, mutta jos päätelaitte on verkon peittoalueen ulkopuolella, se vaihtaa satelliittijärjestelmään.

Globalstar-järjestelmään käsipuhelimia tekevät Qualcomm, Ericsson ja Telital [Glo00]. Qualcomm ja Ericsson tekevät myös kiinteästi sijoitettavia suurempia satelliittipuhelimia. Esimerkiksi Qualcommin kiinteään puhelimeen kuuluu 50 cm pitkä katolle sijoitettava antenni, liitosrasia ulkoseinään ja sisälle tulevat puhelin ja muuntaja. Lisäksi Schlumberger tekee ulko- ja sisäkäyttöön rahapuhelimia, joita voi käyttää esimerkiksi kehitysmaissa "kyläpuhelimina".



Kuva 18: Globalstar-järjestelmän käsipuhelimet: vasemmalla Ericsson, keskellä Qualcomm ja oikealla Telital, alhaalla Ericssonin puhelin antenni kiinni taitettuna [Glo00].

Qualcommin puhelin on suunnattu Yhdysvaltojen markkinoille, sillä se toimii Globalstar-järjestelmän lisäksi amerikkalaisessa analogisessa matkapuhelinverkossa AMPS:ssä (Advanced Mobile Phone Service) ja amerikkalaisen standardin IS-95-mukaisissa digitaalisessa matkapuhelinverkossa. Eurooppalaisten valmis-

tajien Ericssonin ja Telitalin puhelimet toimivat Globalstar-järjestelmän lisäksi GSM-matkapuhelinverkossa. Kaikkiin käsipuhelimiin myydään erilaisia lisätarvikkeita kuten autosarja, jonka auton katolle tulevan lisäantennin avulla satelliittipuhelin toimii auton sisällä. Telital mainostaa jo sarjaporttiadapteria, jolla tietokoneen tai muun datalaitteen voi kytkeä puhelimeen [Glo00].

ICO-järjestelmään käsipuhelimia valmistavat Mitsubishi, NEC, Samsung, Nera ja Hughes [Ico00]. Koska järjestelmä ei ole vielä valmis, on vain osasta puhelimista julkaistu alustavia kuvia ja teknisiä tietoja. Mitsubishi, NEC, Nera ja Samsung valmistavat ICO-järjestelmän lisäksi GSM-matkapuhelinverkossa toimivaa puhelinta. Näistä Neran ja NEC:in puhelimet toimivat GSM:n 900 MHz:n taajuusalueen lisäksi myös 1 800 MHz:n taajuusalueella. Hughes valmistaa amerikkalaisissa AMPS- ja D-AMPS (Digital Advanced Mobile Phone Service)-järjestelmissä toimivaa puhelinta ja Samsungilla on GSM-puhelimen lisäksi amerikkalaisissa AMPS- ja IS-95-matkapuhelinverkoissa toimiva puhelin.



Kuva 19: ICO-järjestelmään valmistavat puhelimia mm. Mitsubishi, Nera, NEC ja Samsung [Ico00]. NEC:in puhelimessa irrotettavaan satelliittiosaan voi liittää tavallisen NEC:in GSM-puhelimen.

Käsipuhelinten lisäksi ICO-järjestelmään tulee päätelaitteita muita käyttötarkoituksia varten. Landis & Gyr valmistaa rahapuhelimia [Ico00], jotka Globalstarin tavoin suunnataan kehitysmaiden markkinoille "kyläpuhelimiksi". Käsipuhelinvalmistajat tulevat ICO:n mukaan [Ico00] kehittämään myös kiinteästi sijoitettavia päätelaitteita ja erikoispuhelimia merenkulkua ja kuljetusyrityksiä varten.

Alla olevassa taulukossa vertaillaan Globalstarin pienintä, Ericssonin R290-puhelinta [Glo00, Ast00] ja ICO-järjestelmän pienintä eli Samsungin ICO/GSM-puhelinta [Ico00] toisiinsa. Jotta satelliittipuhelinten kokoa ja muita tietoja voisi suhteuttaa maanpäällisten matkapuhelinverkkojen puhelimiin, on taulukkoon lisätty kolme vuotta vanhan GSM-verkon puhelimen, Nokian 6110:n tiedot [Nok00b]. On kuitenkin muistettava, että satelliittimatkapuhelinjärjestelmät eivät pysty kilpailemaan maanpäällisten verkkojen kanssa, vaan satelliittipuhelimet on suunniteltu nimenomaan käytettäväksi siellä, missä maanpäällistä verkkoa ei ole käytettävissä.

Taulukko 2: Satelliittimatkapuhelinjärjestelmien ja maanpäällisen GSM-järjestelmän puhelinten ominaisuuksien vertailu [Glo00, Ast00, Ico00, Nok00b].

	Globalstar	ICO	GSM
Pituus (cm)	16,2	14,5	13,0
Leveys (cm)	6,2	5,4	4,7
Paksuus (cm)	3,9	2,6	2,8
Antennin pituus avattuna (cm)	noin 15	noin 7	noin 2
Tilavuus (cm ³)	392	205	130
Paino (g)	350	240	137
Valmiusaika (h), satelliittipuhelimilla satelliittikäytössä	6	90	60 - 270
Puhe aika (h)	1,5	3	3 - 5
Hinta (mk)	12 900	noin 5 000	noin 1 600

ICO-puhelin on mitoiltaan ja painoltaan jo melko lähellä maanpäällisen verkon puhelimia: ICO-puhelimen tekniset tiedot vastaavat näiltä osilta melko pitkälle esimerkiksi vanhempaa GSM-puhelinta Nokian 2110:aa. Sen sijaan Globalstarin puhelin on selkeästi suurempi ja painavampi. Globalstar-järjestelmän puhelimilla on yllättävän heikot puhe- ja varsinkin valmiusajat. Puhelin ei toimi edes yhden työpäivän ajan valmiustilassa ilman uudelleen latausta. Sen sijaan ICO-järjestelmän puhelin vastaa täysin niitä puhe- ja valmiusaikoja, mihin matkapuhelinverkon käyttäjät ovat tottuneet. Globalstar-puhelimen hinta ja ICO-puhelimen hinta-arvio osoittavat, että ainakin aluksi satelliittipuhelimet maksavat huomattavasti enemmän kuin maanpäällisten matkapuhelinverkkojen keskihintaiset puhelimet. Satelliittipuhelinten hinnat saattavat laskea, kun puhelimien myyntiluvut kasvavat.

4.2.3 Järjestelmien tarjoamat palvelut

Satelliittimatkapuhelinjärjestelmät tarjoavat samoja ja samankaltaisia palveluita kuin maanpäälliset matkapuhelinjärjestelmät. GSM-palveluiden toteuttamien satelliittijärjestelmään on helppoa, koska satelliittijärjestelmä käyttää osin GSM-verkkoelementtejä. Kaikkia GSM-palveluita ei kuitenkaan ainakaan alkuvaiheessa toteuteta satelliittijärjestelmään [Ovu96].

Sekä Globalstar että ICO tarjoavat puheen lisäksi lyhytsanomien välitystä, ryhmän kolme faksipalvelua ja lisäpalveluita, kuten puheluiden edelleenohjausta, puhelun pitoa, koputustoimintoa ja konferenssipuhelua [Ovu96].

Globalstar ei vielä tarjoa datansiirtoa, mutta palvelu on tarkoitus aloittaa ensi kesänä 9,6 kbit/s nopeudella [Glo00]. ICO suunnitteli alunperin datanopeudeksi samaa 9,6 kbit/s aikaväliä kohden ja suurempaa lähetystehoa käyttävällä autolaitteella voitaisiin monta aikaväliä varaamalla saavuttaa 38,4 kbit/s nopeus [Ico98]. Teledesicin myötä datansiirtonopeutta nostettaneen, arviot nopeudesta vaihtelevat 144 kbit/s [Sel00] ja 384 kbit/s [Ano00c] välillä.

Koko ICO-järjestelmä muokattaneen pakettipohjaiseksi, jolloin se voisi välittää IP (Internet Protocol) -protokollan mukaisia palveluita kuten sähköpostia ja WWW-sivuja [Ano00c, Ano00d]. Pakettipohjisena päätelaitteiden yhteys voi olla aina päällä, sillä yhteydestä veloitetaan vain siirrettyjen pakettien perusteella [Ano00c]. Yksi toteutusvaihtoehto pakettipohjaiselle ICO-järjestelmälle voisi olla GPRS-verkkoelementtien (ks. 3.10) lisääminen maa-asemalle ja tarvittavien muutosten tekeminen muihin alijärjestelmiin.

4.3 Maasegmentti

Maasegmentti koostuu maa-asemista sekä verkonhallinta- ja satelliittiohjauskeskuksista. Maa-asema vastaa puheluiden ja muiden palveluiden välittämisestä. Verkonhallintakeskuksesta valvotaan ja ohjataan koko satelliittimatkapuhelinjärjestelmää ja sen liikennettä. Satelliittiohjauskeskus tarkkailee satelliittien tilaa ja sijaintia sekä vastaa satelliittien pysymisestä oikealla radalla ja toimintakuntoisina.

Globalstarin maa-asemat eivät kuulu satelliittijärjestelmän valmistajalle Globalstar L.P.:lle, vaan maa-asemat rakentavat, ylläpitävät ja omistavat paikalliset puhelinoperaattorit. Näin itse satelliittijärjestelmän rakentaminen tulee halvemmaksi, mutta järjestelmän toiminta-alue riippuu paikallisten operaattoreiden halusta investoida maa-asemaan. Jotta Globalstar-järjestelmän peittoalue olisi ilmoitettu 70 asteen leveyspiirien välinen alue, pitäisi maa-asemia olla maailmassa yhteensä

yli 200 kappaletta [Eva98]. Tällä hetkellä maa-asemia on rakenteilla tai valmiina noin 20, joten lähitulevaisuudessa järjestelmä toimii vain saarekkeisilla alueilla maa-asemien lähellä, maksimissaan noin 2 000 kilometrin päässä maa-asemasta [Ets93]. Maa-asemien liittäminen kunkin operaattorin omaan verkkoon hyödyntää maksimaalisesti olemassa olevia maaverkkoja, mutta aiheuttaa rajoituksia esimerkiksi puheluiden kanavanvaihtojen (handover) osalta ja mahdollisesti aukkoja peittoalueeseen.

Maa-asema koostuu kolmesta tai neljästä antennista, niitä ohjaavasta laitteistosta, CDMA-alijärjestelmästä, hallinta-alijärjestelmästä ja tukiasemaohjaimen rajapinta-osasta. GSM-järjestelmään maa-asema liittyy A-rajapinnan kautta (ks. 3.4). Tällöin maa-asema liittyy operaattorin GSM-keskukseen (MSC), jonka yhteydessä on myös vierailijarekisteri (VLR).



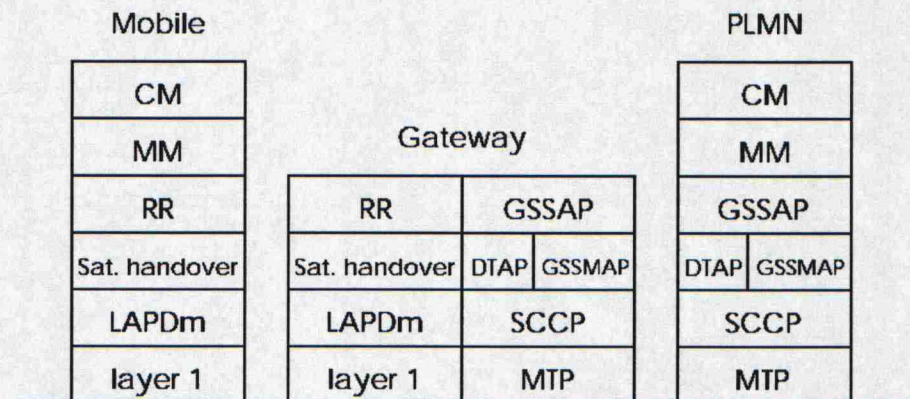
Kuva 20: Globalstar-järjestelmän maa-asemalla on kolme tai neljä antennia, jotka seuraavat kulloinkin näkyvissä olevia satelliitteja [Glo95].

Globalstar-järjestelmän käyttäjät ovat maa-asemaoperaattoreiden ja heidän yhteistyökumppaneittensa asiakkaita ja käyttäjien tiedot sijaitsevat kyseisen operaattorin kotirekisterissä (HLR). Kun käyttäjä siirtyy oman operaattorinsa maa-aseman peittoalueen ulkopuolelle, hän on toisessa maa-asemassa verkkovierailija. Oman operaattorin ulkopuolinen maa-asema hakee tiedot käyttäjän kotirekisteristä kuten yleensä GSM-verkkovierailussa, jonka jälkeen satelliittijärjestelmän palvelut ovat käytettävissä. Valitusta ratkaisusta aiheutuu ylimääräistä hitautta ja kuormaa verkolle, ja lisäksi kanavanvaihto puhelun aikana ei toimi maa-asemien välillä. Tämä ei ole Globalstarin mukaan ongelma, sillä he laskevat, että 90 % verkon liikenteestä on paikallista, yhden maa-aseman alueella tapahtuvaa [Ets93].

Vaikka varsinainen merkinanto- ja puheluliikenne kulkee operaattoreiden verkkojen kautta, täytyy maa-asemat kytkeä myös Globalstarin omaan dataverkkoon. Tämän dataverkon kautta verkonhallintakeskus tarkkailee verkon toimintaa, selvittää vikatilanteita ja kerää tietoa, jonka perusteella se suunnittelee esimerkiksi resurssien jakamisen [Glo00]. Maa-asemat saavat dataverkon kautta verkonhallinta-aseman välittämät tiedot satelliittien radoista, jotta maa-asemien antennit voidaan suunnata tarkasti kulloinkin näkyvillä olevia satelliitteja kohti.

Tietyt maa-asemat keräävät tietoja satelliittien asennosta ja alijärjestelmien kunnosta. Nämä tiedot välitetään satelliittiohjauskeskukseen Globalstarin dataverkon kautta. Satelliittihallintakeskus laskee tietojen perusteella satelliittien tarkat radat, tarkkailee satelliittien kuntoa ja lähettää lasketut ohjauskäskyt maa-asemien välityksellä satelliiteille, jotka muuttavat ohjauskäskyjen mukaan rataansa [Glo00].

Globalstar-järjestelmän merkinantoprotokolla-arkkitehtuuri poikkeaa vain vähän GSM:n merkinantoprotokolla-arkkitehtuurista (ks. 3.8):



Kuva 21: Globalstarin merkinantoprotokolla-arkkitehtuuri [Ets93]. Lyhenne PLMN tarkoittaa matkapuhelinverkkoa, tässä tapauksessa se vastaa GSM-keskusta (MSC), gateway sisältää tukiasemaohjaimen (BSC) ja tukiaseman (BTS) toiminnallisuuden ja mobile tarkoittaa päätelaitetta.

Kuvassa käytetyt GSM-standardin mukaiset lyhenteet on selitetty kappaleessa 3.8. Tärkein ero GSM:n merkinantoprotokolla-arkkitehtuuriin on päätelaitteen ensimmäisessä kerroksessa (kuvassa layer 1). Globalstar-järjestelmässä ensimmäinen kerros välitetään koodijakoisen multipleksoinnin avulla, kun GSM-standardissa käytetään aikajakoista multipleksointia. Molemmissa fyysinen kerros vastaa bittivirran siirrosta ilmarajapinnan kautta, kanavakoodauksesta ja modulaatiosta. Satelliittien välinen kanavanvaihto (kuvassa sat. handover) vaatii muutoksia kolmannen

kerroksen radioresurssien hallintaan, jonka takia tarvitaan erillinen yhteyskäytäntö LAPDm- ja RR-kerroksien väliin.

Globalstar-järjestelmän maa-asemalla (kuvassa gateway) ei ole eritelty tukiaseman (BTS) ja tukiasemaohjaimen (BSC) toiminnallisuutta. Merkinantoprotokollat sekä päätelaitteen että GSM-keskuksen suuntiin ovat kuitenkin lähes identtiset GSM-standardin kanssa. Tukiasemajärjestelmän sovellusosa (BSSMAP) ja BSSAP-yhteyskäytännöt ovat Globalstar-järjestelmässä GSSMAP- ja GSSAP-nimisiä, mikä ehkä tarkoittaa, että kyseisiä yhteyskäytäntöjä on muokattu satelliittijärjestelmään paremmin soveltuviksi. Muuten yhteyskäytännöt vastaavat GSM-standardin merkinantoprotokolla-arkkitehtuuria.

ICO-järjestelmässä maa-asemat kuuluvat järjestelmän rakentavalle ICO Global Communicationsille. Maa-asemia on yhteensä 12 kappaletta, mikä riittää satelliittien huomattavasti korkeamman ratakorkeuden ansiosta kattamaan täydellisesti maapallon kaikki alueet [Ico00]. Maa-asemat liitetään ICO:n omaan maaverkkoon, jota kutsutaan ICONET:iksi. Maaverkko on suurikapasiteettinen, suljettu verkko, joka reitittää puhelut maa-asemien välillä tai yleiseen televerkkoon vastaanottajan sijainnista riippuen. Yleisestä televerkosta tulevat puhelut reititetään soittajaa lähimmän yhdyskäytävän kautta ICONET-verkkoon ja sitä kautta eteenpäin. Eli ICONET on oma verkkonsa eikä se kuulu osana muihin matkapuhelinverkkoihin kuten Globalstarilla.

Kussakin ICO-maa-asemassa on viisi 7,6 metrin antennia, jotka seuraavat näkyvillä olevien satelliittien liikkeitä [Ver98]. Antenneja käskee ohjausjärjestelmä ja antennisignaalit johdetaan GSM-verkon tukiasemaa (BTS) vastaavalle tukiasemayksikölle. Maa-asema toteuttaa tukiasemaohjaimen (BSC) toiminnallisuuden, jotta maa-asema voidaan liittää A-rajapinnan kautta Ericssonin MSC/VLR-keskukseen [Ced99].

ICONET-maaverkkoon kuuluu kotirekisteri (HLR), tunnistuskeskus (AuC), kaksi laskutustiedot keräävää keskusta, kaksi verkonhallintakeskusta ja kaksi satelliittiohjauskeskusta [Ico00]. ICO-järjestelmän tilaajien tiedot sijaitsevat joko ICO:n omassa kotirekisterissä tai verkkovierailusopimuksen tehneen operaattorin kotirekisterissä. Verkonhallintakeskus toimii kuten Globalstar-järjestelmässä eli seuraa ja ohjaa koko satelliittiverkon toimintaa, suunnittelee resurssien jakamisen ja korjaa mahdolliset vikatilanteet. ICO-järjestelmän merkinantoprotokolla-arkkitehtuuri lie-
nee hyvin pitkälle GSM-standardin mukainen – satelliittijärjestelmä saattaa vaatia joidenkin muutosten tekemistä yhteyskäytäntöihin.

Joka toisessa maa-asemassa on satelliittien telemetriotiedot keräävät yksiköt, jotka lähettävät tiedot satelliittiohjauskeskukseen ICONET:in välityksellä. Tietojen perusteella satelliittiohjauskeskus tarkkailee satelliittien toimintaa, laskee niiden tarkat radat ja käskee satelliitit tekemään tarvittavat ratamuutokset [Ico00].

Kullakin maalla on oikeus päättää, salliiiko se satelliittimatkapuhelinjärjestelmän toiminnan alueellaan. Tätä varten järjestelmät tarvitsevat toimiluvat eri maista ja maa-asemien täytyy pystyä määrittelemään käyttäjän sijainti noin kymmenen kilometrin tarkkuudella. Globalstar aikoo tarjota tulevaisuudessa myös käyttäjille paikannuspalvelua amerikkalaisen paikannusjärjestelmä GPS:n (Global Positioning System) avulla [Glo95]. Käyttäjien paikannuksessa Globalstar hyödyntää satelliiteissa olevia GPS-järjestelmän vastaanottimia satelliittien tarkan paikan mittaamiseksi [Glo95]. ICO-järjestelmä mittaa satelliittien ja niiden avulla käyttäjien sijainnin omalla tavallaan, sillä ICO-järjestelmän ei haluttu olevan riippuvainen GPS-järjestelmästä [Ico00].

5. TETRA:N JA SATELLIITTIJÄRJESTELMÄN PALVELUT

Tässä kappaleessa selvitetään, mitä palveluita TETRA-käyttäjät tarvitsisivat eniten TETRA-verkon ulkopuolella. TETRA- ja satelliittimatkapuhelinjärjestelmien palveluvalikoimaa ja yksittäisiä palveluita verrataan keskenään ja erityisesti tarkastellaan satelliittijärjestelmän tulevaisuudessa mahdollisesti tarjoaman GSM-ryhmäpuhelun ja TETRA-ryhmäpuhelun eroja.

TETRA-järjestelmän käyttäjille tärkeimpiä palveluita ovat ryhmäpuhelu, piiri- ja pakettikytkentäisen datansiirto ja lyhytviestit. Jos käyttäjä sijaitsee suunnitellun TETRA-verkon peittoalueen ulkopuolella, ei aitojen TETRA-palveluiden tarjoaminen ole välttämätöntä: käyttäjälle tärkeintä on pystyä kommunikoidaan oman TETRA-verkkonsa käyttäjien kanssa edes jollain tavalla. Yksilöpuhelu toiselle käyttäjälle kuten päivystäjälle tai itsekkin TETRA-verkon ulkopuolella sijaitsevalle kollegalle saattaa olla täysin riittävä tukipalvelu siinä erikoistilanteessa, että TETRA-verkkoa ei ole käytettävissä.

Toisaalta TETRA-standardissa on määritelty suora toimintatila (ks. 2.5), jonka avulla kaksi TETRA-verkon ulkopuolella olevaa käyttäjää voi keskustella keskenään. Suora toimintatila riittää joissain tilanteissa, mutta kaukana TETRA-verkosta ei suoran toimintatilan käyttäminen yhdyskäytävänä TETRA-verkkoon ole mahdollista. Satelliittimatkapuhelinjärjestelmä voisi välittää joitakin TETRA-tyyppisiä palveluita TETRA-verkon ulkopuolelle.

Satelliittijärjestelmän yksilöpuhelu vastaa tavallista yleisen televerkon puhelua. TETRA-järjestelmän suorapuhelua, jossa puhelu alkaa ennen B-tilaajan vastaamista, satelliittijärjestelmissä ei tunneta. Satelliittijärjestelmän puhelu on aina kaksisuuntainen (duplex), kun taas TETRA-järjestelmässä yksilöpuhelu voi olla myös vuorosuuntainen (semi-duplex) eli puheenvuoro on yhdellä osapuolella vuorollaan. Kaksisuuntainen puhelu käyttää puolet enemmän järjestelmän radiokanavia kuin vuorosuuntainen, mutta satelliittijärjestelmän mahdolliseksi käyttäjämääräksi ilmoitetaan muutama miljoonaa käyttäjää [Glo00, Ico00], joten muutamien TETRA-verkon ulkopuolella olevien TETRA-käyttäjien radioresurssien käytöllä ei liene merkitystä.

Puhelunmuodostusaika on TETRA-järjestelmässä noin 300 millisekuntia, kun se on ehkä sekuntien luokkaa satelliittijärjestelmissä. TETRA:n tarjoamaa puheluiden ja puheenvuorojen prioriteetteja ei satelliittijärjestelmistä löydy, mutta jos satelliittijärjestelmän resurssit eivät lopu eikä puheenvuorojen jakoa käytetä, ei prioriteettien puuttuminen ole merkittävää. Puheenlaatu on koodausnopeudesta päätellen pa-

ras Globalstar-järjestelmässä, jossa puhe välitetään 9,6 kbit/s nopeudella. TETRA-järjestelmässä siirtonopeus puheelle on 7,2 kbit/s ja ICO-järjestelmässä 4,8 kbit/s.

Lyhytsanomia TETRA-järjestelmässä neljä eri tyyppiä (ks. 2.4) ja lyhytviestit ovat korkeintaan 256 merkin pituisia. Satelliittijärjestelmissä lyhytsanomien ovat GSM:n mukaisia eli 160 merkkiä pitkiä. GSM-tekstiviesteissä merkit lähetetään 7-bittisellä merkistöllä, TETRA:ssa käytetään 8-bittistä merkistöä. Jos järjestelmien välillä halutaan lähettää tekstiviestejä, kannattaa TETRA:ssa käyttää 140 merkin pituisia tekstiviestiä, jolloin tekstiviestin pituus bitteinä vastaa GSM-järjestelmän tekstiviestiä. Tekstiviestien lisäksi satelliittijärjestelmät tarjoavat myös ryhmän kolme faksipalvelua, mutta TETRA-käyttäjille tämä palvelu ei ole ehkä kovin tärkeä.

Datansiirto on TETRA-järjestelmässä joko piiri- tai pakettikytkentäistä, siirtonopeus on parhaimmillaan yhtä aikaväliä käyttäen 7,2 kbit/s ja neljällä aikavälillä 28,8 kbit/s. Globalstar-järjestelmä tarjoaa ainoastaan 9,6 kbit/s siirtonopeutta, mutta ICO-järjestelmässä yhtä aikaväliä käyttäen nopeus on 9,6 kbit/s ja neljällä aikavälillä 38,4 kbit/s. Koska ICO-järjestelmä suunnitellaan uudelleen ja datansiirtonopeutta on tarkoitus nostaa, voisi ICO:n hyödyntäminen datansiirrossa olla myös TETRA-verkon peittoalueella järkevää.

Peruslisäpalvelut kuten puhelusiirrot, puhelun pito ja koputus ovat sekä TETRA-että satelliittijärjestelmissä.

Satelliittijärjestelmien palveluvalikoima koostuu GSM-standardin mukaisista palveluista. GSM-standardissa on määritelty ryhmäpuhelupalvelu (ks. 3.5.1), joka saatetaan tulevaisuudessa toteuttaa esimerkiksi Globalstar- tai ICO-järjestelmässä. Mikäli GSM-ryhmäpuhelu toteutettaisiin, voisi olla mahdollista muuntaa TETRA-ryhmäpuhelu GSM-ryhmäpuheluksi ja päinvastoin. Tällöin TETRA-käyttäjä voisi esimerkiksi muodostaa satelliittiverkossa GSM-ryhmäpuhelun, joka muunnettaisiin TETRA-ryhmäpuheluksi TETRA-verkossa.

GSM-ryhmäpuhelu on TETRA:n tavoin vuorosuuntainen. Ryhmät ovat GSM-järjestelmässä tallennettu käyttäjän SIM-kortille ja tilaajan kotirekisteriin, kun taas TETRA-järjestelmässä ryhmä voidaan ohjelmoida myös ilmateitse päätelaitteeseen. TETRA-standardi määrittelee kaksi erilaista ryhmäpuhelua (ks. 2.4.1): viestikanava- ja puheluryhmätyyppiset puhelut. Tavallisimmin TETRA-ryhmäpuhelu on viestikanavatyyppinen, jossa ryhmäpuhelulla ei ole omistajaa ja puheenvuoropyyntö aloittaa välillä uuden puhelun, välillä puheluresurssit saattavat olla jo varattuina. GSM-ryhmäpuhelu vastaa puolestaan TETRA-standardin puheluryhmätyyppistä puhelua, jossa puhelulla on aina selkeä alku ja loppu sekä puhelun aloit-

tanut henkilö on puhelun omistaja. Puhelun omistaminen tarkoittaa sitä, että puhelu päättyy vasta, kun puhelun omistaja lopettaa sen.

GSM-ryhmäpuhelu edellyttää ryhmäpuhelurekisterin toiminnallisuuden lisäämistä järjestelmään, kun taas TETRA-ryhmäpuhelu on peruspalvelu, jonka jokainen TETRA-keskus osaa muodostaa. TETRA-järjestelmässä ryhmän alue voidaan määritellä yhdestä solusta aina koko järjestelmän kattavaksi ja alue voi olla myös tilaajien sijainnin mukaan muuttuva. GSM-ryhmän alue on yhden GSM-keskuksen alue tai se voi koostua monen keskuksen alueesta.

Kuitattu ryhmäpuhelu ja myöhempi ryhmään liittyminen on määritelty niin TETRA- kuin GSM-ryhmäpuhelustandardissa. TETRA-järjestelmässä puheenvuorojen jaossa ja puheluiden muodostamisessa käytetään prioriteetteja, GSM-järjestelmässä prioriteetit ovat erillinen lisäpalvelu, jota voidaan hyödyntää myös ryhmäpuhelussa, mikäli järjestelmä tukee prioriteettilisäpalvelua.

GSM-ryhmäpuhelun toteuttamisessa satelliittijärjestelmään on kuitenkin pari ongelmaa, jotka täytyy ratkaista: ryhmän alueen määrittäminen satelliittijärjestelmässä on vaikeampaa ja radioresurssien järkevä käyttäminen kymmenien antennikeilojen alueella on suunniteltava huolellisesti. Jotta GSM-ryhmäpuhelu ei tuhlaa satelliittijärjestelmän resursseja, kannattaa satelliittijärjestelmässä käyttää kuitattua ryhmäpuhelua. Tällöin puhelu muodostetaan vain niiden antennikeilojen alueille, joilla on ryhmän jäseniä. Myös satelliittijärjestelmän pidempi viive voi aiheuttaa muutoksia puhelua ohjaavan ryhmäpuhelurekisterin toimintaan.

6. YHTEENLIITTYMISVAIHTOEHDOT

Tässä kappaleessa esitellään kahdeksan työssä löydettyä satelliittimatkapuhelin- ja TETRA-järjestelmien yhteenliittymisvaihtoehtoa. Kunkin vaihtoehdon kohdalla kuvataan, miten järjestelmät liittyvät verkkotasolla yhteen ja millaisella päätelaitteella yhteistoimintaa voisi parhaiten hyödyntää. Yhteenliittymisvaihtoehdot tarjoavat tietyn valikoiman palveluita, vaihtoehtojen toteuttaminen vaatii eritasoisia muutoksia järjestelmiin ja vaihtoehtoihin liittyy joitain ongelmia, jotka on ratkaistava suunnitteluvaiheessa. Nämä asiat on esitelty jokaisen yhteenliittymisvaihtoehdon kohdalla.

6.1 Yleisen televerkon tyyppinen liitäntä

TETRA-keskus voidaan liittää ITU:n standardien Q.930 ja Q.931 mukaisilla liitäntöillä (64 kbit/s, 2 Mbit/s) yleisessä televerkossa sijaitsevaan keskukseen, tässä tapauksessa satelliittimatkapuhelinverkon keskukseen. Käyttäjällä on kaksitoimipuhelin (dual-mode), joka toimii sekä satelliittimatkapuhelin- että TETRA-verkossa. Puhelin on rekisteröityneenä jompaan kumpaan verkkoon tietyllä hetkellä.

Kun käyttäjä siirtyy TETRA-verkon peittoalueen ulkopuolelle, päätelaite siirtyy käyttämään satelliittiverkkoa. Satelliittiverkossa käyttäjä voi hyödyntää ainoastaan satelliittiverkon tarjoamia palveluita; TETRA:n mukaisia palveluita kuten ryhmäpuhelua ei voi käyttää. Verkkojen välillä on käytettävissä vain ISDN-liitännän mukaiset palvelut. Käyttäjän puhelinnumero vaihtuu, kun käyttäjä siirtyy toiseen verkkoon. Tästä syystä käyttäjälle soittaessa täytyy tietää, kumpaa verkkoa hän käyttää sillä hetkellä. Tämä ongelma on ratkaistavissa älyverkon (IN, Intelligent Network) palveluiden avulla: tulevat puhelut voidaan reitittää toisen verkon puhelinnumeroon esimerkiksi tietyn viiveen jälkeen, jos käyttäjää ei tavoiteta valitusta numerosta.

Erityisesti PSS-segmentillä on tärkeää, että on aina mahdollisuus muodostaa puhelu toiselle TETRA-verkon käyttäjälle. Kun käyttäjällä on kaksitoimipuhelin ja TETRA-verkko on kytketty yleisen televerkon tavoin esimerkiksi ICO-satelliittimatkapuhelinverkkoon, on peittoalueena koko maapallo.

Kaksitoimipuhelimen toteuttamisessa on seuraavia ongelmia:

- käytettävät radiotaajuudet ovat eri taajuusalueella (TETRA: 400 MHz, MSS: 1,6 - 2,2 GHz), minkä takia radio-osan suunnittelu antennineen on haastavaa

- järjestelmät ovat täysin erilaisia ja käytännössä täytyy toteuttaa "kaksi puhelinta yhden kuoren sisälle"
- TETRA:n palvelut mm. ryhmien ja ryhmäpuhelun hallinnan takia vaativat erilaisen käyttöliittymän (puhelimessa täytyy olla esimerkiksi tangentti), jota taas ei voi hyödyntää satelliittimatkapuhelinjärjestelmässä

Satelliittimatkapuhelinjärjestelmät tarjoavat palveluina yksilöpuhelun, faksien välityksen, lyhytsanomat, datan välityksen ja joitakin lisäpalveluita kuten puhelun pito ja koputus [Ovu96]. Puhepalveluiden välityksessä päästä-päähän salaus ei toimi, sillä järjestelmät käyttävät eri puhekoodekkia ja puheen koodaus täytyy purkaa ennen välittämistä toiseen järjestelmään. Puheen koodauksen purkaminen ja uudelleen koodaaminen eli transkoodaus heikentää välitettävän puheen laatua. Muut kuin puhepalvelut toimivat kuitenkin vain järjestelmän sisällä eikä esimerkiksi lyhytsanomaa voi suoraan välittää TETRA-järjestelmään.

On kuitenkin mahdollista toteuttaa lyhytsanomakeskus, joka osaa välittää kummankin järjestelmän mukaisia lyhytsanomia. Tämän lyhytsanomakeskuksen kautta lyhytsanomaa voisi lähettää järjestelmien välillä. Kuten kappaleessa 5 todettiin, TETRA-järjestelmässä kannattaa käyttää tällöin 140 merkin pituisia lyhytsanomia, jotta lyhytsanomien pituus olisi bitteinä sama.

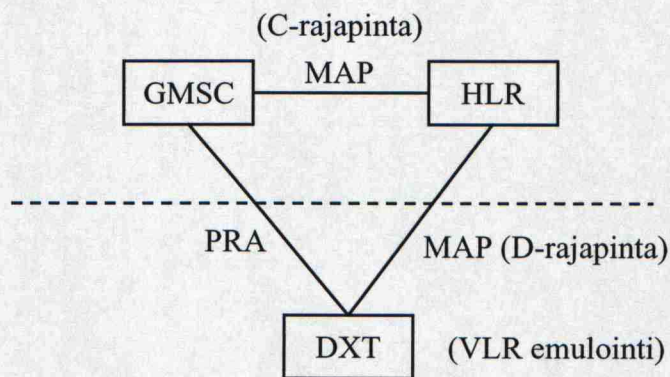
Lyhytsanomapalvelussa on yksi rajoitus: jos lyhytsanoman saanut tilaaja vastaa lyhytsanomaan, vastaus tulee aina lähettäjän MSISDN-numeroon eli sen verkon numeroon, josta lyhytsanoma lähetettiin. Mikäli käyttäjä on siirtynyt toiseen verkkoon, lyhytsanomaa jää jonoan alkuperäisen lyhytsanoman mukaiseen verkkoon ja lähetetään vasta käyttäjän seuraavan rekisteröitymisen jälkeen.

Tämä yhteenliittymisvaihtoehto ei aiheuta muutoksia TETRA- tai satelliittiverkkoon. Päätelaitte on kaksitoimipuhelin, jossa TETRA-puhelimeen on yhdistetty myös satelliittipuhelin. Kaksitoimipuhelimen toteuttaminen on työlästä. Mahdollisesti on suunniteltava molempien järjestelmien lyhytsanomaa käsittelevä lyhytsanomakeskus sekä älyverkkopalvelu tulevien puheluiden reitittämiseksi toisen verkon numeroon. Verkkojen operaattorit ovat eri operaattoreita ja kaksitoimipuhelimen käyttäjällä on molemmissa verkoissa omat tilaajaprofiilit. Käyttäjä saa molempien verkkojen operaattoreilta laskut, sillä verkot ovat täysin erillisiä.

6.2 Vaihde- ja MAP-liitännät

TETRA-keskus (DXT) liittyy ISDN-vaihdeliittymän (PRA, Primary Rate Access) kautta satelliittijärjestelmän maa-asemalla sijaitsevaan GSM-keskukseen (MSC). TETRA-järjestelmän keskus kytketään satelliittijärjestelmän kotirekisteriin (HLR) MAP-protokollalla ja TETRA-keskus emuloi vierailijarekisterin (VLR) toimintaa satelliittijärjestelmään päin. Eli TETRA-keskus toteuttaa GSM:n D-rajapinnan vierailijarekisterin toiminnallisuuden.

C-rajapinta on kotirekisterin ja kauttakulkukeskuksen (GMSC) välinen rajapinta ja D-rajapinta sijaitsee kotirekisterin ja vierailijarekisterin välillä.



Kuva 22: TETRA-keskus (DXT) liittyy kauttakulkukeskukseen (GMSC) MAP- ja PRA-liitäntöjen kautta.

Kun kaksitoimipuhelin on rekisteröitynyt TETRA-verkkoon, DXT välittää tiedon satelliittijärjestelmän kotirekisterille. Jos käyttäjä poistuu TETRA-verkon peitto-alueelta, puhelin rekisteröityy satelliittiverkkoon IMSI-numeroa käyttämällä. Satelliittiverkon kotirekisteri käskää MAP-protokollalla edellistä vierailijarekisteriä poistamaan päätelaitteen tiedot rekisteristään. Tällä tavalla vierailijarekisteriä emuloiva TETRA-keskus saa tiedon, että käyttäjä on siirtynyt satelliittijärjestelmään.

Vastaavasti käyttäjän siirtyessä käyttämään TETRA-verkkoa, satelliittijärjestelmään kytketty TETRA-keskus ilmoittaa satelliittijärjestelmän kotirekisterille, että käyttäjä on TETRA-keskuksen alueella. Vaikka satelliittijärjestelmän kotirekisteri luulee, että käyttäjä sijaitsee nimenomaan tuon tietyn TETRA-keskuksen alueella, voi käyttäjä tosiasiaissa sijaita missä tahansa TETRA-verkossa. TETRA-verkko kuvautuu satelliittijärjestelmän kotirekisterille yhtenä vierailijarekisterinä. TETRA-verkossa on oma sijainnin hallinta, jonka avulla käyttäjän todellinen sijainti verkon sisällä tiedetään tarkasti.

Käyttäjän tunnistaminen tapahtuu kaksitoimi-SIM-kortilla, jossa on omat tunnistamisalgoritmit sekä TETRA:lle että GSM:lle. GSM-verkossa käytetään normaalia GSM:n mukaista tunnistamista. Vaihtoehtoisesti voidaan suunnitella GSM-standardin mukaan sallittu operaattorikohtainen tunnistamisalgoritmi, joka olisi sekä satelliitti- että TETRA-verkoissa sama. Salaus toimii ilmatiellä kulloinkin käytettävän verkon mukaisesti. Kuitenkaan päästä-päähän salaus ei toimi eri puhekoodekin takia. Puheen transkoodaus heikentää puheen laatua järjestelmien välillä.

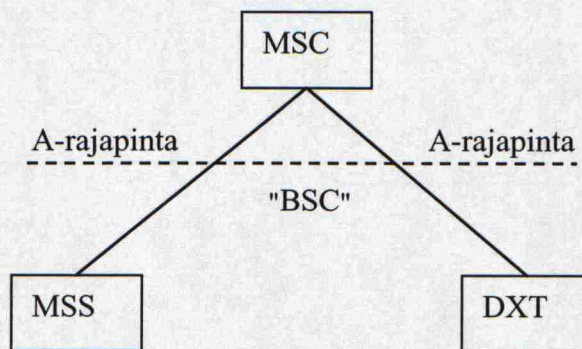
Päätelaite on kaksitoimipuhelin ja käyttäjällä on molemmissa järjestelmissä yhteinen tilaajaprofiili. Tämä tarkoittaa sitä, että käyttäjällä on yksi puhelinnumero, josta hänet tavoittaa aina. Ne käyttäjätiedot, joita tarvitaan vain TETRA-verkossa, tallennetaan TETRA-verkkoon yhteisen tilaajaprofiilin sijaan.

Satelliittiverkkoa käytettäessä palvelut ovat satelliittijärjestelmän mukaisia. MAP-protokollan avulla voidaan GSM-standardin mukaisia palveluita välittää myös satelliitti- ja TETRA-verkkojen välillä, mutta tällöin on toteutettava TETRA-keskukseen kyseiset MAP-protokollan palvelut. Esimerkiksi MAP-protokollan avulla voidaan välittää lyhytsanomia järjestelmien välillä. Edellytyksenä lyhytsanomien välittämiseksi järjestelmästä toiseen on lyhytsanomakeskus, joka osaa välittää molempien järjestelmien mukaisia lyhytsanomia ja muuntaa ne toisen järjestelmän mukaiseksi. TETRA-verkossa kannattaa tällöin käyttää 140 merkkiä pitkiä lyhytsanomia, jotta lyhytsanomien pituudet satelliitti- ja TETRA-järjestelmissä ovat bitteinä laskettuna samat (ks. kappale 5).

TETRA-keskukseen täytyy toteuttaa vierailijarekisterin emulointi ja MAP-protokolla eli D-rajapinnan vierailijarekisterin puoli sekä tuki halutuille MAP-protokollan mukaisille palveluille. Satelliittiverkkoon ei tarvita muutoksia. Päätelaite on kaksitoimipuhelin, jossa on sekä TETRA- että satelliittipuhelimen toiminnallisuus. Mahdollisesti toteutetaan molempien järjestelmien lyhytsanomat ymmärtävä lyhytsanomakeskus tekemään tarvittavat muunnokset järjestelmien välisille lyhytsanomille. Operaattoreiden työtä säästää yhteinen tilaajaprofiili, mutta TETRA-spesifiset tiedot täytyy tallentaa TETRA-verkkoon erikseen. Laskut tulevat käyttäjälle yhteisen tilaajaprofiilin ansiosta vain yhdeltä operaattorilta.

6.3 TETRA:n liittäminen maa-aseman GSM-keskukseen tukiasemaohjaimena

Satelliittimatkapuhelinjärjestelmän maa-asemalla on GSM-keskus (MSC), johon muu osa satelliittijärjestelmästä liittyy A-rajapinnan kautta. Myös TETRA-keskus (DXT) voi liittyä A-rajapinnan kautta GSM-keskukseen, jolloin TETRA-keskukseen on toteutettava GSM-tukiasemaohjaimen (BSC) puoli A-rajapinnasta. GSM-keskuksen, johon TETRA-keskus liittyy, ei tarvitse olla satelliittijärjestelmän maa-aseman keskus, vaan riittää, että GSM-keskuksien välillä on yhteys esimerkiksi yleisen televerkon kautta.



Kuva 23: Satelliittimatkapuhelinjärjestelmä (MSS) ja TETRA-keskus (DXT) liittyvät A-rajapinnan kautta satelliittimatkapuhelinjärjestelmän maa-asemalla sijaitsevaan GSM-keskukseen (MSC).

Päätelaite on kaksitoimipuhelin, joka toimii satelliitti- ja TETRA-verkossa. Kun päätelaite siirtyy TETRA-verkon peittoalueen ulkopuolelle, se rekisteröityy satelliittiverkkoon. Rekisteröityminen ja ilmatien salaustilaus toimivat kuten satelliittijärjestelmän muilla päätelaitteilla. Tunnistamista varten päätelaitteessa on oltava varten SIM-kortti tai vaihtoehtoisesti voidaan käyttää ns. operaattorikohtaista tunnistamisalgoritmia, joka on satelliitti- ja TETRA-verkoissa sama.

Satelliittiverkossa käytetään GSM:n mukaista liikkuvuuden hallintaa. GSM-keskus (MSC/VLR) päivittää sijaintitiedon omaan vierailijarekisteriinsä ja kotirekisteriin. Satelliittijärjestelmän kotirekisterissä on tiedot kaksitoimipuhelimen käyttäjistä. A-rajapinnan kautta GSM-keskukseen kytketty TETRA-verkko näkyy keskukselle tukiasema-alijärjestelmänä (BSS). Kaksitoimipuhelinta käyttävä tilaaja näkyy GSM-keskukselle tavallisena GSM-tilaajana. Tilaajan puhelinnumero on satelliittijärjestelmän mukainen GSM-numero.

Kun kaksitoimipuhelin on rekisteröityneenä TETRA-järjestelmään, GSM-keskuksella on tieto, että käyttäjä on tämän tukiasema-alijärjestelmän alueella. TETRA-järjestelmässä TETRA-verkko tarjoaa käyttäjälle näkyvät palvelut aivan

normaalisti; liityntä A-rajapinnan kautta GSM-keskukseen ei vaikuta palveluihin. Jos käyttäjä on satelliittijärjestelmään rekisteröityneenä ja TETRA-verkossa oleva toinen käyttäjä soittaa satelliittijärjestelmässä sijaitsevalle käyttäjälle, TETRA-keskus välittää A-rajapinnan kautta puhelunmuodostussanomien GSM-keskukselle, joka vastaa puhelun muodostamisesta.

Kun päätelaite on rekisteröityneenä satelliittijärjestelmään, satelliittijärjestelmän mukaiset palvelut ovat käytettävissä. TETRA-keskus voi rajapinnan kautta hyödyntää MSC:n tarjoamia puhelunohjaus- (CC, Call Control), liikkuvuuden hallinta- (MM), lyhytsanoma- (SMS) ja lisäpalveluita (SS, Supplementary Services). Lyhytsanomien kulkevat satelliitti- ja TETRA-verkkojen välillä, jos tarvittavat muunnokset tehdään TETRA-keskuksessa. GSM-kotirekisteriin (HLR) tallennettava tilaaja-profiili, joka pitää sisällään tilaajan asetukset ja käytettävissä olevat palvelut, on hyödynnettävissä molemmista verkoista. TETRA-spesifiset asetukset tallennetaan TETRA-järjestelmän tietokantaan.

Yksi satelliittijärjestelmässä oleva käyttäjä voi kerrallaan olla jäsenenä TETRA-ryhmäpuhelussa. Tämä tapahtuu kuten minkä tahansa yleisen televerkon (PSTN) tilaajan liittäminen ryhmäpuheluun, Nokian TETRA-järjestelmä tukee yhden yleisen televerkon tilaajan liittämistä ryhmäpuheluun. Satelliittitilaajan tapauksessa puheenvuorojen jaossa tarvittava puheaktiviteetin tunnistaminen ja pidempi viive satelliittiverkossa saattavat vaatia muutoksia toteutukseen TETRA-verkossa.

Mikäli satelliittimatkapuhelinjärjestelmä tukee GSM-standardin vaiheen 2+ ryhmäpuhelua (VGCS), voisi olla mahdollista muuntaa TETRA-ryhmäpuhelu GSM-ryhmäpuheluksi. TETRA-ryhmä on rekisteröitynyt aina GSM-ryhmäpuhelun tilaajaksi ja kun satelliittiverkon tilaaja muodostaa GSM-ryhmäpuhelun, TETRA-keskus muodostaa TETRA-ryhmäpuhelun ja yhdistää sen osaksi GSM-ryhmäpuhelua. Jos TETRA-tilaaja muodostaa TETRA-ryhmäpuhelun, ohjaa TETRA-keskus puhelunmuodostuspyynnön satelliittijärjestelmään, jossa muodostetaan GSM-ryhmäpuhelu. TETRA-verkosta tulevat puheenvuoropyynnot välitetään niin ikään satelliittiverkkoon. Toteutus vaatii, että TETRA-keskuksessa on GSM-järjestelmän mukainen rajapinta, jonka välityksellä GSM-ryhmäpuheluun liittyvät sanomat välitetään – pelkkä A-rajapinta ei riitä. GSM-ryhmäpuhelun muuntaminen TETRA-ryhmäpuheluksi olisi hankalampaa.

Satelliittijärjestelmään ei voida toteuttaa TETRA:n mukaista ryhmäpuhelusalausta. Ryhmäpuhelu voi olla satelliittijärjestelmässä täysin salaamaton tai molemmissa järjestelmissä käytettäisiin niiden omia ilmatiesalausalgoritmeja ja järjestelmien välillä ryhmäpuhelu olisi salaamaton. Päästä-päähän salaus ei toimi järjestelmissä

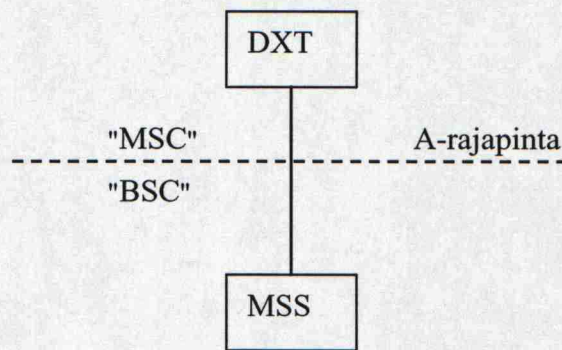
käytettävien erilaisten puhekoodekkien takia. Puhepalveluiden laatua heikentää järjestelmien välillä tarvittava puheen transkoodaus.

Jos satelliittijärjestelmä kykenee välittämään dataa suuremmalla nopeudella kuin TETRA-järjestelmä (28,8 kbit/s), käyttäjä voisi käyttää satelliittijärjestelmän tiedonsiirtopalvelua esimerkiksi tiedostojen tai videokuvasiirrossa. Jotta käyttäjä pääsee organisaationsa dataverkkoon, tarvitaan liityntä käyttäjän dataverkosta satelliittijärjestelmään.

TETRA-keskukseen tulee toteuttaa tukiasemanohjaimen puoli A-rajapinnasta merkinantoprotokolliseen ja toiminnallisuuksiin. Jos ryhmäpuhelut halutaan yhdistää, tarvitaan TETRA-keskukseen rajapinta GSM-ryhmäpuheluiden välittämistä varten. Satelliittiverkkoon tarvitaan liityntä TETRA-organisaation dataverkkoon, jos organisaation dataverkkoon halutaan tarjota yhteys satelliittiverkon kautta. Pääteläite on satelliitti- ja TETRA-puhelinten yhdistelmä, kaksitoimipuhelin, joka osaa automaattisesti vaihtaa toiseen verkkoon käyttäjän liikkeessä verkon peittoalueen ulkopuolelle. Käyttäjällä on yksi puhelinnumero, josta hänet tavoittaa kummasta tahansa verkosta. Operaattorin tarvitsee ylläpitää vain yhtä tilaajaprofiilia, mutta TETRA-spesifiset tiedot tallennetaan TETRA-keskukseen. Kun sekä soittaja että vastaanottaja ovat TETRA-verkossa, laskutus toimii TETRA-verkon kautta, muulloin laskutustiedot kerätään satelliittiverkosta.

6.4 TETRA:n liittäminen satelliittiverkkoon maa-aseman GSM-keskuksena

TETRA-keskukseen (DXT) toteutetaan A-rajapinnan GSM-keskuksen (MSC) osuus ja satelliittimatkapuhelinjärjestelmä liittyy DXT:hen kuin MSC:hen. Satelliittijärjestelmästä katsottuna DXT vastaa MSC:tä. Ainakin Globalstar-satelliittimatkapuhelinjärjestelmä voi liittyä yhden maa-aseman kautta useaan GSM-keskukseen. Tämä on mahdollista, koska satelliittijärjestelmä toteuttaa monta GSM-tukiasema-alijärjestelmä (BSS) liityntää, joista yksi liittyy aina yhteen MSC:hen. Yksi näistä keskuksista olisi TETRA-keskus.



Kuva 24: TETRA-keskus (DXT) toteuttaa A-rajapinnan MSC:n osuuden ja satelliittimatkapuhelinjärjestelmä (MSS) liittyy TETRA-keskukseen maa-aseamalla kuten GSM-keskukseen.

Maa-asemaa käyttävien tilaajien liikenne on ohjattava joko GSM- tai TETRA-keskukselle. TETRA-käyttäjillä on kaksitoimipuhelin, joka satelliittijärjestelmässä toimii järjestelmän radorajapinnan mukaisesti. Rekisteröinti, tunnistaminen ja liikkuvuuden hallinta toimii A-rajapinnan mukaisesti. Merkinanto satelliittijärjestelmän ja DXT:n välillä on GSM:n mukaista.

TETRA-keskukseen täytyy siis toteuttaa GSM-merkinanto ja kaikki MSC:n toiminnallisuus eli puheenohjaus-, liikkuvuuden hallinta-, lyhytsanoma- ja lisäpalvelut.

Käytettävissä on satelliittijärjestelmän mukaiset palvelut, sillä GSM-merkinannolla ei voi välittää TETRA-spesifisiä palveluita. Palvelut ja rajoitukset ovat samoja kuin edellisessä vaihtoehdossa, mutta tässä tapauksessa kaikki toiminnot täytyy toteuttaa TETRA-keskukseen – edellisessä vaihtoehdossa DXT hyödynsi MSC:ssä toteutettuja toimintoja.

Koko GSM-keskuksen toiminnallisuuden lisääminen TETRA-keskukseen on hyvin työlästä. Satelliittiverkkoon ei tarvitse tehdä muutoksia. Päätelaitte on satelliittijärjestelmä-kaksitoimipuhelin, joka osaa vaihtaa verkkoa automaattisesti. Operaattorin huolena on vain yhden tilaajaprofiilin päivittäminen. Edellisestä vaihtoehdosta poiketen kaikissa tapauksissa laskutus toimii yhden verkon kautta, sillä TETRA-keskus vastaa TETRA-tilaajien kaikesta puhelunmuodostuksesta molemmissa verkoissa.

6.5 TETRA satelliittijärjestelmän alimpien protokollakerrosten päällä

Ratkaisussa TETRA-standardin kolmas kerros (ks. 2.6.1) välitettäisiin satelliittijärjestelmän merkinantoprotokolla-arkkitehtuurin (ks. 4.3) alimpien kerrosten – OSI-mallin ensimmäisen ja toisen kerroksen – päällä. Tässä tutkitaan Globalstar-satelliittijärjestelmän ja TETRA:n merkinantoprotokolla-arkkitehtuurin yhdistämistä. ICO-satelliittijärjestelmän merkinantoprotokolla-arkkitehtuuri on Globalstarin kaltainen, mutta ensimmäinen eli fyysinen kerros muistuttaa enemmän GSM-standardin fyysistä kerrosta. TETRA:n ohjaus- ja käyttäjätason liikenne siirretään satelliittijärjestelmän mukaisilla kanavilla. Liikenne täytyy sovitaa oikeille kanaville ja vastaavasti ohjata vastaanotettu liikenne ohjaus- tai käyttäjätasolle.

Päätelaite voi perustua satelliittijärjestelmän puhelimeen, mutta esimerkiksi kanavien käsittelyä ja puhelimen käyttöliittymää on muokattava TETRA:n mukaisiksi. Vuorosuuntaisen liikenteen välittäminen vaatii tangentti-näppäimen ja jotta TETRA-palveluita voi tehokkaasti hyödyntää, on puhelin ulkomuodoltaan samankaltainen TETRA-verkon puhelimen kanssa.

	Globalstar		TETRA		G* ja TETRA
3. krs	CM		CM		CM
	MM		MM		MM
	RR		MLE		MLE
	Sat.handover				
2. krs	LAPDm	DLL	LLC		LAPDm
			MAC		
1. krs	Layer 1		Physical		Layer 1

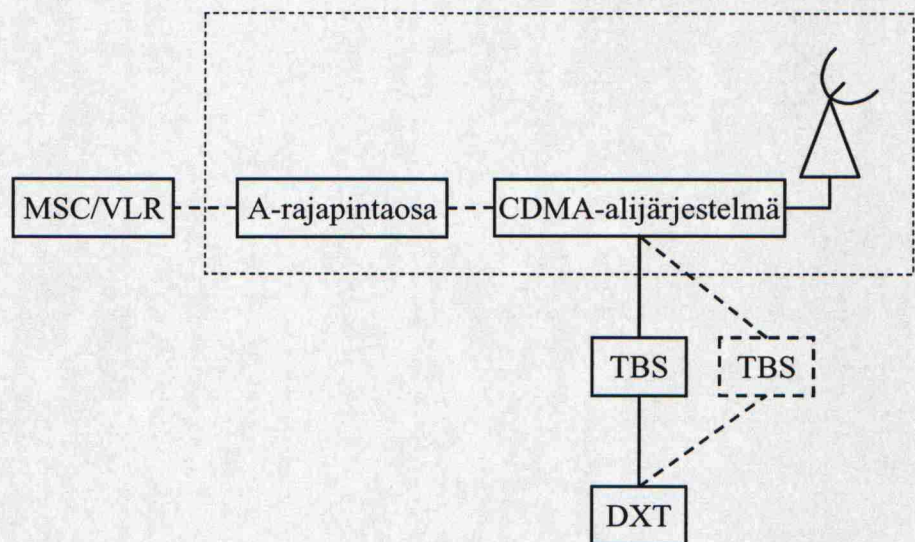
Kuva 25: Globalstar- ja TETRA-järjestelmien merkinantoprotokolla-arkkitehtuurit (ks. kappaleet 2.6.1 ja 4.3). Kuvassa oikealla Globalstarin ensimmäisen ja toisen kerroksen päälle on sijoitettu TETRA:n kolmas kerros.

Yhdistetyn merkinantoprotokolla-arkkitehtuurin ensimmäinen kerros on Globalstarin mukainen eli koodijakomultipleksoinnin (CDMA) avulla siirretään bittivirtaa tiettyä kanavakoodausta ja modulaatiota käyttäen päätelaitteen ja maaseman välillä. Toinenkin kerros on Globalstarin mukainen, mutta vastaa hyvin pitkälle GSM-merkinantoprotokolla-arkkitehtuurin toista kerrosta eli LAPDm-siirtoyhteysproseduuria.

Kolmas kerros on TETRA:n mukainen, mutta siihen täytyy tehdä satelliittijärjestelmän takia muutoksia. Yhteyskäytäntö päätelaitteen ja verkon välillä (MLE) vas-

taa linkkiyhteydestä, liikkuvuudesta rekisteröintialueen sisällä ja palvelun laadusta. Satelliittijärjestelmän erilaiset alempien kerroksien palveluiden laadut ja satelliittien väliset kanavanvaihdot (handover) aiheuttavat muutoksia MLE-yhteyskäytäntöön. Satelliittiverkon erilainen tilaajien liikkuvuuden hallinta tuo muutoksia myös MM-yhteyskäytäntöön. Ratkaisussa käytetään GSM:n mukaista kanavarakennetta, johon TETRA:n kolmannen kerroksen yhteyskäytännöt on mukautettava.

Koska vaihtoehdossa merkinantoprotokolla-arkkitehtuurin alimmat kerrokset ovat satelliittijärjestelmän mukaisia, täytyy maa-asemalla sijaitsevan tukiaseman hallita näiden kerrosten käsittely. Satelliittijärjestelmän maa-asema käsittelee alemmat kerrokset ja ohjaa TETRA-käyttäjien liikenteen yhdelle tai useammalle TETRA-tukiasemalle. Useamman TETRA-tukiaseman käyttäminen lisää käytettävissä olevaa kapasiteettia, koska kutsukanavien määrä kasvaa.



Kuva 26: Globalstar-järjestelmän maa-asema liittyy GSM-keskukseen (MSC/VLR) A-rajapintaosan kautta, mutta TETRA-tukiasemaa (TBS) varten pitäisi CDMA-alijärjestelmään toteuttaa uusi rajapinta. Satelliittijärjestelmä liittyisi TETRA-keskukseen (DXT) joko yhden tai useamman tukiaseman kautta.

Satelliittijärjestelmän maa-aseman sijaan voidaan TETRA-tukiasema muokata alimpien kerrosten osalta satelliittijärjestelmän mukaiseksi ja sijoittaa osaksi maa-asemajärjestelmää. Joka tapauksessa täytyy TETRA:n verkkoelementteihin ja päätelaitteisiin tehdä muutoksia esimerkiksi erilaisen sijainnin hallinnan vuoksi. Sekä TETRA- että satelliittijärjestelmiin täytyy suunnitella ja toteuttaa uudet liitännät, joiden kautta järjestelmät yhdistetään. Liitännöiden ja merkinantoprotokolla-arkkitehtuurin suunnittelussa on verrattava järjestelmiä toisiinsa hyvin pieniä yksityiskohtia myöten, mikä tekee suunnittelun hankalaksi ja työlääksi.

Palvelut ovat TETRA:n mukaisia eli satelliittijärjestelmän maa-aseman alue kuuluu loogisesti TETRA-verkkoon.

Tämä ratkaisu ei ole käytännöllinen, sillä kahden eri järjestelmän merkinantoprotokolla-arkkitehtuurin yhdistäminen on hankalaa. Ilmarajapinnan toteuttaminen satelliittien kautta aiheuttaa muutoksia moniin merkinantokerroksiin maanpäällisiin verkkoihin verrattuna ja tässä vaihtoehdossa täytyisi TETRA:n kolmanteen kerrokseen tehdä satelliittijärjestelmän vaativia muutoksia. Lisäksi täytyy yhteensovittaa satelliittijärjestelmän merkinanto-arkkitehtuurin ensimmäinen ja toinen kerros TETRA-standardin kolmanteen kerrokseen.

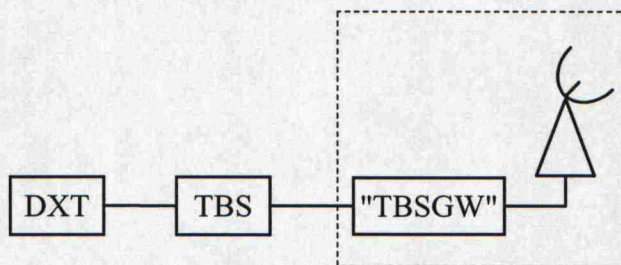
Edellä luetellut asiat vaativat muutoksia TETRA-tukiasemaan ja -keskukseen. Tukiasemaan täytyy toteuttaa rajapinta maa-asemaan päin. Satelliittijärjestelmään täytyy toteuttaa rajapinnan toinen puoli ja merkinantoprotokolla-arkkitehtuurin kolmas kerros täytyy ohjata TETRA-tukiasemalle. Päätelaitteen ensimmäinen ja toinen kerros ovat satelliittijärjestelmän mukaiset, mutta TETRA:n mukaiseen kolmanteen kerrokseen täytyy tehdä satelliittijärjestelmän takia muutoksia. Päätelaitteen käyttöliittymä on TETRA:n kaltainen. Yhteenliittymisvaihtoehdossa satelliittiverkossa sijaitsevat tilaajat ovat liittyneet suoraan TETRA-keskukseen, joten käytössä on yksi tilaajaprofiili, yksi puhelinnumero ja laskut tulevat yhdestä verkosta.

6.6 TETRA-ilmarajapinta satelliittijärjestelmän välityksellä

TETRA-ilmarajapinnan käyttämiselle on kaksi perusedellytystä: satelliitin täytyy välittää vastaanotettu informaatio maahan sellaisenaan, ilman muokkaamista ja satelliittijärjestelmän on käytettävä TETRA:n tavoin aikajakomultipleksointia (TDMA). Ensimmäisen edellytyksen täyttävät sekä ICO- että Globalstar-järjestelmät, konkurssiin menneessä Iridiumissa satelliitit käsittelevät välittämäänsä informaation, jonka takia Iridium-tyyppisessä järjestelmässä ei voida välittää TETRA-ilmarajapintaa. Globalstar-järjestelmä puolestaan käyttää koodijakoista multipleksointia (CDMA). Jäljelle jää ICO-järjestelmä, jossa saattaa olla mahdollista välittää TETRA:n ilmarajapinnan mukaista liikennettä.

TETRA-ilmarajapinnan välittäminen tapahtuu tähän käyttöön varatulla taajuuskaistalla, joka on osa ICO-järjestelmälle varatusta taajuuskaistasta. Tämä taajuuskaista ohjataan maa-asemalla TETRA-tukiasemalle ja sitä kautta TETRA-keskukseen. Koska TETRA-standardissa ei ole määritelty esimerkiksi tukiasema-rajapintaa, täytyy satelliittijärjestelmän ja TETRA-tukiaseman välinen rajapinta määritellä. Jotta TETRA-tukiasema voi toimia satelliittijärjestelmän maa-asemalla,

täytyy maa-aseman toteuttaa TETRA-standardin looginen kanavarakenne ja standardin mukainen radioresurssien hallinta.



Kuva 27: Satelliittijärjestelmän maa-asema voi liittyä tukiasemarajapinnan toteuttavan tukiasemayhdyskätävän (TBSGW) kautta TETRA-tukiasemaan (TBS) ja edelleen TETRA-keskukseen (DXT).

Välttämättä ICO-järjestelmän taajuuskaistasta ei tarvitse varata osaa TETRA-liikennettä varten, sillä TETRA-kanavia voidaan välittää myös ICO-kanavien keskellä. Kanavien yhteensopivuus aiheutuu siitä, että molemmat järjestelmät käyttävät 25 kHz:n levyisiä kanavia. TETRA aiheuttaa erittäin vähän häiriöitä muille kanaville: TETRA-signaali on vaimentunut viereiselle kanavalle vähintään 60 dB [Ets96a], joten TETRA-ilmarajapinnan välittäminen ICO-kanavien keskellä ei häiritse ICO-liikennettä.

Päätelaitteen radio-osia on muokattava, sillä ICO-järjestelmä toimii 2 GHz:n taajuudella, kun taas TETRA-verkot käyttävät 400 MHz:n taajuusalueita. Päätelaite on joko kaksitoimipuhelin tai vain satelliittiverkossa toimiva TETRA-satelliittipuhelin. On mahdollista toteuttaa myös kolmitoimipuhelin, jota voisi käyttää TETRA- ja ICO-satelliittipuhelimenä sekä maanpäällisen TETRA-verkon puhelimenä.

Ratkaisussa ICO toteuttaisi satelliittimatkapuhelinjärjestelmäänsä TETRA-ilmarajapinnan. Tämän mahdollistavat satelliitit, jotka välittävät kaikki tietyn taajuusalueen radiolähteet läpinäkyvästi maa-asemien ja päätelaitteiden välillä. Satelliittijärjestelmän ja TETRA-verkon välinen rajapinta voidaan myös määrittää niin, että jokainen TETRA-verkon valmistaja voi toteuttaa oman sovitussaitteensa rajapinnan ja tukiaseman välille.

Satelliittimatkapuhelinjärjestelmän käyttäminen aiheuttaa myös muita muutoksia TETRA-järjestelmään:

Vapaan tilan vaimennus on huomattavasti suurempi, sillä etäisyys päätelaitteen ja järjestelmän lähetin-vastaanottimen välillä kasvaa muutamasta kymmenestä kilometristä yli kymmeneen tuhanteen kilometriin. Vaimennuksen kasvu kompensoi-

daan lähinnä satelliitin suurilla, suuntaavilla antennilla. Päätelaitteen antennilla tai suuremmalla lähetysteholla voidaan linkkibudjettiin vaikuttaa korkeintaan muutamman desibelin verran. ICO-puhelinten keskimääräinen lähetysteho on 0,5 W ja TETRA-käsipuhelinten keskimääräinen lähetysteho on 0,25 W. Jos päätelaitteessa käytetään suurempaa lähetystehoa, puhelimen valmius- ja puheajat pienenevät.

Linkkibudjetti on tietyn linkkiyhteyden tehobudjetti, johon vaikuttaa esimerkiksi lähetysteho, käytettävät antennit, välimatka, taajuus, modulaatio ja vastaanottimen ominaisuudet. ICO-järjestelmässä käytetään QPSK-modulaatiota satelliitista päätelaitteeseen (downlink, laskeva siirtotie) ja GMSK-modulaatiota päätelaitteesta satelliittiin (uplink, nouseva siirtotie). TETRA-järjestelmässä käytetään DQPSK-modulaatiota.

Jos TETRA-ilmarajapinta välitetään ICO-järjestelmän kautta laskevalla siirtotiellä (downlink), erona on linkkibudjetin kannalta ainoastaan erilainen modulaatio. DQPSK-modulaation käyttäminen vaatii pahimmillaan 2,5 dB suuremman kantoaalto-kohinasuhteen kuin QPSK-modulaatio. Eli TETRA-standardin mukaisen ilmarajapinnan välittäminen ICO-järjestelmän kautta tarkoittaa sitä, että esimerkiksi satelliitissa on käytettävä hieman suurempaa lähetystehoa.

DQPSK-modulaatio mahdollistaa differentiaali-ilmaisimen käyttämisen vastaanotossa, jonka takia nykyisissä TETRA-päätelaitteissa voidaan käyttää nimenomaan yksinkertaisempaa differentiaali-ilmaisinta koherentin ilmaisimen sijaan. ICO-järjestelmässä QPSK-modulaation takia on pakko käyttää koherenttia ilmaisinta päätelaitteissa. Mikäli myös satelliittikäytössä olevissa TETRA-päätelaitteissa käytetään koherenttia ilmaisinta, pienenee eri modulaatiosta johtuva ero noin 1 - 1,5 desibeliin.

Nousevalla siirtotiellä (uplink) eroina ovat ICO-järjestelmän GMSK-modulaatio ja TETRA:ssa käytetty DQPSK-modulaatio. GMSK-modulaatiolla vaadittava kantoaalto-kohinasuhde on kaikilla bittivirhesuhteilla noin 1,5 dB pienempi kuin DQPSK-modulaatiolla differentiaali-ilmaisinta käyttäen [Pro89, Ste92]. Kuten edellä, käyttämällä koherenttia ilmaisinta päätelaitteessa saadaan vaadittavaksi kantoaalto-kohinasuhteeksi DQPSK-modulaatiolla 1 - 1,5 dB pienempi luku. Eli TETRA-ilmarajapintaa välittäessä täytyy esimerkiksi päätelaitteissa käyttää 0 - 0,5 dB suurempaa lähetystehoa kuin ICO:ssa.

Linkkibudjettiarviot osoittavat, että TETRA-ilmarajapinnan välittäminen satelliittien kautta vaatii vain pieniä muutoksia, jotka on otettava tehobudjetissa huomioon.

Pitkästä matkasta päätelaitteelta satelliitin kautta maa-asemalle johtuu myös pitkä viive, joka on ICO-järjestelmässä edestakaisin noin 70 millisekuntia. Tämän päälle tulevat muut järjestelmästä johtuvat viiveet; esimerkiksi puheenkoodaus aiheuttaa viivettä. Satelliitin ja päätelaitteen välinen synkronointi on viiveen ja satelliittien liikkeestä aiheutuvan viiveen vaihtelun takia hankalampaa kuin maanpäällisessä verkossa. Tällä hetkellä TETRA-järjestelmässä suurin mahdollinen etäisyys tukiaseman ja päätelaitteen välillä on noin 65 kilometriä, sillä muuten eri päätelaitteiden läheteet voivat viiveestä johtuen mennä päällekkäin. Satelliittijärjestelmän tuomat suuremmat viiveet voidaan kompensoida esimerkiksi muokkaamalla TETRA:n kehysrakennetta tai päätelaitteiden synkronointia verkon kanssa.

Lisäksi TETRA-järjestelmässä käytettävät ajastimet, esimerkiksi puhelunmuodostuksen enimmäisaikaa valvova ajastin, on muokattava satelliittijärjestelmän viiveiden mukaisiksi. Satelliittien liikkeestä johtuva Doppler-siirtymä muuttaa lähetystaajuuksia; tämä on ratkaistu satelliittijärjestelmissä esimerkiksi muuttamalla lähetystaajuutta Doppler-siirtymän verran päinvastaiseen suuntaan. Samaa keinoa voidaan hyödyntää myös TETRA-ilmarajapintaa käytettäessä.

TETRA:n merkinantoprotokolla-arkkitehtuuriin (ks. 2.6.1) täytyy tehdä satelliittijärjestelmän erilaisista ominaisuuksista johtuen muutoksia. Fyysinen eli ensimmäinen kerros vastaa taajuuden valitsemisesta ja kerrokseen täytyy tehdä satelliittijärjestelmän taajuuksia sekä Doppler-siirtymästä johtuvaa taajuuden vaihtelua varten muutoksia. Ensimmäinen kerros säätää päätelaitteen lähetystehoa ja mittaa vastaanotetun signaalin voimakkuudet toisen kerroksen siirtokanavan saantimenettelyn ohjauksen (MAC) käskyjen mukaan. Tehonsäätö satelliittijärjestelmässä vaatii muutoksia TETRA:n ensimmäiseen ja toiseen kerrokseen. TETRA:n toisen kerroksen yhteyskäytäntöihin tarvitaan myös muita muutoksia koskien esimerkiksi mahdollisia uudelleen lähetyksiä ja naapurisolujen monitorointia.

TETRA:n ilmarajapinnan kolmannen kerroksen yhteyskäytäntö päätelaitteen ja tukiaseman välillä (MLE) vastaa palvelun laadun valinnasta ja tilaajan sijainnin hallinnasta rekisteröintialueen sisällä. Palvelun laatu ja tilaajan sijainnin hallinta ovat satelliittijärjestelmässä erilaisia, mikä pitää ottaa huomioon MLE-yhteyksikäytännössä. Rekisteröintialueiden välillä tilaajien sijainnin hallinnasta vastaa MM-yhteyksikäytäntö. Yhteyksikäytäntö valitsee kulloinkin käytettävän sijaintialueen ja valintakriteereitä saatetaan joutua muokkaamaan satelliittijärjestelmässä.

Satelliittijärjestelmän maa-asema peittää osan antennikeilojen ja satelliittien välisistä kanavanvaihtoista (handover) TETRA-järjestelmältä. Mikäli kanavanvaihdot näkyvät TETRA-keskukselle normaaleina tukiasemavaihtoina, ei muutoksia kanavanvaihtojen osalta tarvittane.

Satelliittijärjestelmän kautta TETRA-palveluja käyttävät tilaajat liikkuvat satelliittijärjestelmän alueella, mutta koko ajan myös satelliitit pyörivät maapallon ympäri. ICO-järjestelmässä kierrosaika on noin kuusi tuntia. Mikäli sijaintialue määräytyy maa-aseman alueen mukaan, ei satelliittien liike näy TETRA-keskukselle ja sijaintialue muuttuu vain tilaajan liikkuesssa. Tällöin maa-aseman alue koostuu maa-asemaan kyseisellä hetkellä yhteydessä olevien satelliittien peittoalueesta.

Saattaa olla, että TETRA-ilmarajapinnan käyttäminen vaatii hyväksynnän viranomaisilta sekä toimiluvan jokaisesta maasta, jonne palveluja halutaan välittää. Puhelua muodostettaessa täytyy puhelimen sijainti tuntea muutaman kilometrin tarkkuudella, koska kaikkien valtioiden alueella satelliittijärjestelmällä ei ole välttämättä toimilupaa. Puhelimen sijainti täytyy joko selvittää TETRA-ilmarajapinnan kautta tapahtuvan laskennan avulla – puhelin mittaa signaaleiden voimakkuuksia, viiveitä ym. eri satelliitteihin ja välittää tiedot maa-asemalle, joka laskee puhelimen sijainnin – tai puhelimessa voi olla GPS-paikannusjärjestelmän vastaanotin, jonka antamat sijaintitiedot välitetään TETRA-verkolle.

Joka tapauksessa puhelimen sijainnin määrittämisen ja sijainnin muuntamisen tietyksi sijaintialueeksi tekee satelliittijärjestelmän maa-asema – esimerkiksi tukiasemayhdyskätävä (TBSGW) – eikä TETRA-verkon tarvitse puuttua siihen. Maa-asemaan TETRA-ilmarajapinnan käyttäminen saattaa sen sijaan aiheuttaa muutoksia sijainnin määrittämisen suhteen.

TETRA-ryhmäpuhelussa ryhmälle on määritelty alue, josta ryhmän jäsenet voivat osallistua puheluun. Satelliittijärjestelmän kautta ryhmän aluetta on ehkä vaikeampi määrittellä: TETRA-keskus saattaa nähdä maa-aseman alueen yhtenä tukiasemana, jolloin ryhmän alue voi koostua jopa useista valtioista.

TETRA-tukiasemaan täytyy toteuttaa maa-asemaan toteutettavan tukiasemayhdyskätävän rajapinta. Sekä tukiasemaan että keskukseen tulee muutoksia merkinantoprotokolla-arkkitehtuuriin esimerkiksi sijainnin hallinnan osalta. Satelliittijärjestelmään täytyy suunnitella ja toteuttaa TETRA-ilmarajapinnan välittäminen ja tukiasemayhdyskätävä-verkkoelementti. Paikanmäärittäminen täytyy toteuttaa TETRA-signaalia käyttäen tai GPS-paikannusjärjestelmän avulla. Myös taajuuksien jakaminen TETRA- ja satelliittijärjestelmien käyttäjien välillä on suunniteltava.

Päätelaite on muokattu TETRA-päätelaite, joka käyttää muun muassa eri taajuuksia ja hieman suurempaa lähetystehoja. Päätelaitteen merkinantoprotokollaan tulee samat muutokset kuin TETRA-verkkoelementteihin. Jos päätelaitteen paikantamista ei toteuteta TETRA-signaalista mitaten, saattaa olla, että päätelaitteeseen täytyy lisätä GPS-paikannusjärjestelmän vastaanotin. Koska TETRA-tilaajat ovat yhteydessä TETRA-keskukseen myös satelliittiverkosta, tilaajaprofiilin, puhelinnumeron ja laskutuksen hoitaa TETRA-operaattori kuten maanpäällisen TETRA-verkon käyttäjien kohdalla.

6.7 IP-pakettien välitys satelliittiverkon yli

Ainakin ICO-järjestelmä välittää pakettikytkentäistä dataa. Pakettikytkentäinen datapalvelu toimii IP (Internet Protocol) -protokollan mukaisesti [Ico00]. Palvelua voidaan hyödyntää TETRA:n tukena. Datapalvelun laatuun ja käytettävyyteen vaikuttaa tiedonsiirtonopeus, viive, viiveen vaihtelu ja virhesuhde.

IP-protokolla kuuluu verkkokerrokseen ja se huolehtii pakettien välityksestä IP-osoitteiden perusteella. IP-paketti koostuu otsikosta (header), joka on 24 tavun pituinen, sekä vaihtelevan pituisesta hyötykuormasta.

Jos IP-protokollaa käytetään puheen välityksessä, tarvitaan myös muita protokollia. Merkinantoprotokollalla muodostetaan puhekonteksti pakettiverkon yli. IP-konteksti tarkoittaa virtuaalista yhteyttä: varsinaista piirikytkentäistä yhteyttä ei ole olemassa vaan paketit saattavat kulkea eri kautta IP-kontekstin aikana. Merkinantoprotokollaan kuuluvat myös muut tarvittavat kuljetuskerroksen protokollat. Merkinantoprotokollana voidaan käyttää joko Internet-maailman SIP (Session Initiation Protocol) -protokollaa tai kansainvälisen standardointiorganisaatio ITU:n (International Telecommunications Union) määrittelemää H.323-protokollaa. Puhekoodekkina käytetään TETRA:n ACELP-koodekkia.

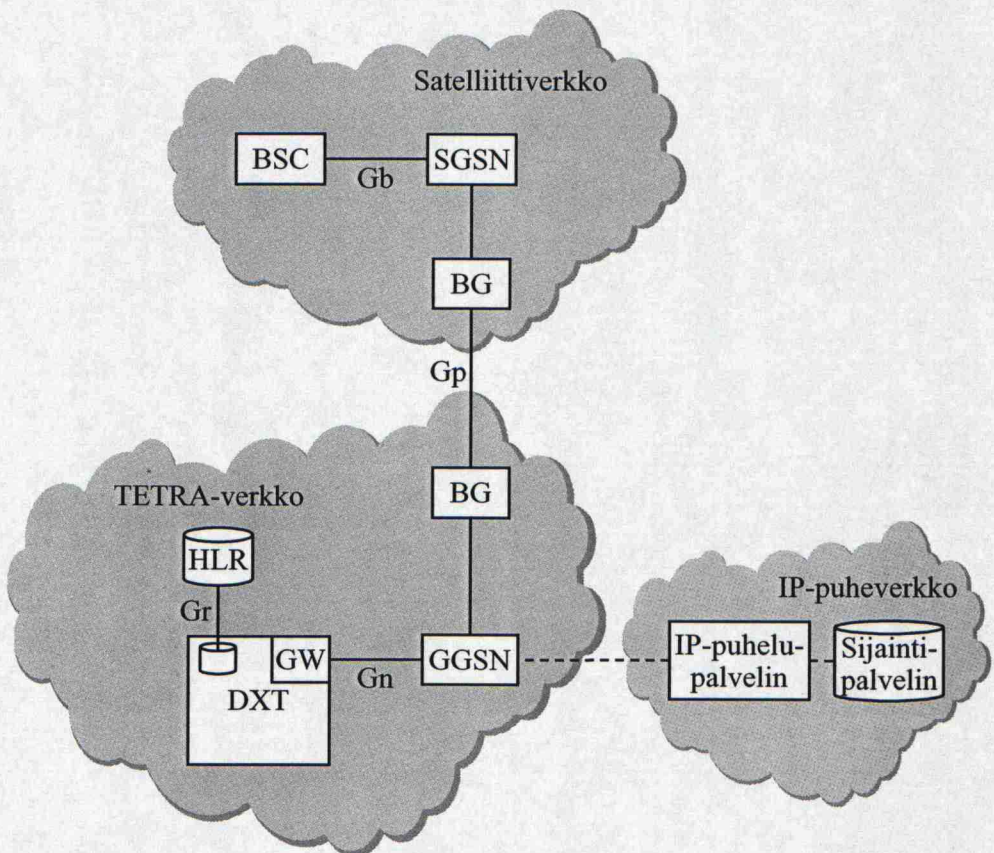
Päätelaitteen radio-osa toimii satelliittijärjestelmän määrittelemällä tavalla ja muodostaa IP-kontekstin puheen välitystä varten. Kontekstin muodostumisen jälkeen päätelaite vastaa toiminnaltaan tavallista VoIP (Voice over IP) -päätelaitetta. Dataa ohjataan satelliittijärjestelmästä TETRA-keskukseen, jossa IP-yhteys voidaan muuntaa tavalliseksi TETRA-puheeksi.

Käytettävissä olevat palvelut ovat SIP- tai H.323-protokollan mukaisia. Näin ollen esimerkiksi TETRA-ryhmäpuhelut eivät ole mahdollisia ilman, että protokollaan lisätään TETRA:n mukainen ryhmäpuhelutuki. Käyttäjä voi osallistua käynnissä olevaan TETRA-ryhmäpuheluun kuten yleisen televerkon käyttäjä; kerralla ryhmässä voi olla yksi TETRA-verkon ulkopuolinen käyttäjä.

6.7.1 GPRS:n hyödyntäminen IP-pakettien välityksessä

ICO-satelliittimatkapuhelinjärjestelmä tarjoaa jatkossa myös nopeita pakettipohjaisia yhteyksiä (ks. 4.2.3). Yksi toteutusvaihtoehto on GPRS-datapalvelun mukaisten verkkoelementtien (ks. 3.10) lisääminen järjestelmään. Tässä ICO:n ja TETRA:n yhteenliittymisvaihtoehdossa lähdetään siitä, että ICO-järjestelmään toteutetaan GPRS-datapalvelu GSM-standardin mukaisesti.

SGSN vastaa muun muassa GPRS-tilaajien liikkuvuuden hallinnasta ja GPRS-spesifisistä tiedoista. GGSN, joka vastaa liittynnoistä ulkoisiin verkkoihin, liittyy SGSN:ään Gn-rajapinnan kautta. Gn-rajapinnalla käytetään GTP-protokollaa, jonka päällä voidaan välittää IP-protokollan mukaisia paketteja. TETRA-keskukseen (DXT) toteutetaan vaihtoehdossa Gn-rajapinta, jolloin TETRA-keskus voidaan liittää GGSN-verkkoelementtiin. Tällöin TETRA-keskus toimisi SGSN-verkkoelementtinä.



Kuva 28: TETRA-verkko liittyy Gp-rajapinnan kautta satelliittiverkkoon ja GGSN-verkkoelementin kautta IP-puheverkkoon, joka vastaa IP-puheluiden muodostamisesta.

TETRA-verkkoon lisätään GGSN-verkkoelementti, johon SGSN:ää vastaava TETRA-keskus liittyy. TETRA-käyttäjien tiedot sisältävä tietokanta sijaitsee TETRA-keskuksessa. GPRS-datapalveluita varten toteutetaan TETRA-verkkoon erillinen GPRS-standardin mukainen kotirekisteri (HLR). Lisäksi TETRA-verkkoon toteutetaan BG-verkkoelementti, joka muodostaa yhteyden toiseen GPRS-verkkoon eli tässä tapauksessa satelliittiverkon BG-verkkoelementtiin. TETRA-verkko toimii ulkopuolelta katsottuna kuten GPRS-verkko. GGSN-verkkoelementin kautta TETRA-verkko liittyy IP-puheverkkoon sekä mahdollisesti muihin dataverkkoihin.

TETRA-verkossa oleva päätelaite muodostaa IP-palvelun kautta IP-kontekstin. Tämän jälkeen päätelaitteessa oleva sovellus rekisteröityy IP-puheprotokollaa käyttämällä IP-puhelupalvelimelle. Päätelaite siirtyy TETRA-verkon ulkopuolella käyttämään satelliittiverkkoa ja IP-konteksti ohjataan SGSN-verkkoelementin kautta TETRA-verkkoon. Kun käyttäjä muodostaa puhelun, päätelaitteen sovellus välittää pyynnön IP-puhelupalvelimelle, joka selvittää vastaanottajan IP-osoitteen sijaintipalvelimelta. Jos vastaanottaja on rekisteröitynyt IP-puhelupalvelimelle, puheprotokollan mukainen merkinanto ohjataan osoitteen perusteella GGSN:lle. Tämä puolestaan ohjaa IP-paketit oikealle päätelaitteelle.

Ratkaisu on siis kaksitasoinen: aluksi päätelaitteet muodostavat IP-kontekstin TETRA-verkossa, sitten päätelaitteiden IP-puheprotokollaa käyttävät sovellukset rekisteröityvät IP-puheverkkoon. Tämän jälkeen päätelaitteiden välillä voidaan muodostaa puheyhteyksiä IP-puheverkon kautta.

IP-kontekstin siirtäminen verkkojen välillä edellyttää, että TETRA-operaattorilla on GPRS-operaattoritunnus ja TETRA- ja satelliittiverkkojen operaattoreiden välillä on verkkovierailusopimus. Käyttäjän puhelinnumero on molemmissa verkoissa sama. TETRA-verkon kotirekisteri (HLR) vastaa datapalveluiden osalta TETRA-tilaajien sijaintitiedoista. Muissa palveluissa kuten TETRA-verkon sisäisissä puheluisa TETRA-keskuksen tietokanta vastaa tilaajatiedoista.

Päätelaite on kaksitoimipuhelin, joka tukee molempien verkkojen datapalvelua. Lisäksi päätelaitteessa on IP-puheprotokollaa käyttävä sovellus. Käytettävissä ovat IP-puheprotokollan mukaiset palvelut. IP-puheprotokollaan voidaan kuitenkin lisätä haluttujen TETRA-palveluiden tuki, jolloin kaikki satelliitti- tai TETRA-verkossa olevat TETRA-tilaajat voivat hyödyntää näitä palveluita.

Ongelmana TETRA-palveluiden välittämisessä IP-puheprotokollan avulla saattaa olla TETRA-salauksen toteuttaminen päästä-päähän, sillä TETRA-salaus vaatii mm. tiedon TETRA-ilmarajapinnan mukaisten kehysten numeroista. Puhepalvelun laatua heikentää IP-puheprotokollaa käytettäessä suuri viive, joka saattaa jopa häiritä puhelinkeskustelua.

Jos halutaan, että myös tavallisen TETRA-puhelimen käyttäjä voi osallistua IP-puheluun, voidaan TETRA-keskukseen toteuttaa IP-puheprotokollan mukainen sovellus. Ratkaisun avulla TETRA-verkon päätelaitteet voivat osallistua puheluun TETRA-standardin mukaisesti ja TETRA-keskus tekee tarvittavat muunnokset IP-puheverkon ja päätelaitteen välillä.

Satelliittiverkon avulla voidaan tarjota myös muita palveluita kuin puhe. Käyttäjä-organisaation oma dataverkko voi olla kytketty TETRA-verkon GGSN-verkkoelementtiin ja käyttäjä pääsee käsiksi organisaation dataverkkoon nopealla yhteydellä satelliittiverkon kautta. ICO-satelliittiverkon siirtonopeus on mahdollisesti 144 kbit/s, jolloin datayhteys on huomattavasti nopeampi kuin TETRA-verkossa.

Saattaa olla, että puheen välitystä GPRS-verkon kautta ei tarvita ollenkaan: käyttäjä muodostaa puheyhteyden aina TETRA-verkossa tai jollain muulla tässä työssä esitetyllä tavalla ja käyttää nopean datan välitykseen satelliittimatkapuhelinjärjestelmän GPRS-datapalvelua, myös maanpäällisen TETRA-verkon peittoalueella. Tällöin ei luonnollisesti tarvita IP-puheverkkoa.

TETRA-keskukseen tarvitaan puhetta välitettäessä GPRS-datapalvelun Gn-rajapinta ja SGSN-verkkoelementin toiminnallisuus. TETRA-verkkoon täytyy lisätä myös kotirekisteri (HLR) sekä GGSN- ja BG-verkkoelementit. Satelliittiverkkoon ei tarvita muutoksia. IP-puheverkko täytyy liittää TETRA-verkkoon ja mahdolliset muutokset IP-puheprotokollaan täytyy toteuttaa myös IP-puhelupalvelimeen.

Päätelaite on puhepalveluita tarjottaessa TETRA- ja satelliittijärjestelmien IP-palveluiden mukainen laite, jossa on lisäksi IP-puheprotokollaa käyttävä sovellus. Operaattoreiden täytyy toteuttaa verkkojen välinen liitäntä. Laskutus toimii TETRA-verkon kautta. Käyttäjän puhelinnumero on verkoissa yhteinen.

6.8 Bluetooth

Bluetooth on viiden yrityksen – Nokian, Ericssonin, IBM:n, Toshiba ja Intelin – kehittämä uusi langaton tiedonsiirtoteknologia [Blu00]. Bluetooth-radioyhteyden avulla voidaan liittää yhteen matkapuhelimia, tietokoneita ja muita laitteita lyhyellä kantamalla. Myöhemmin Bluetoothin kehittäjiin ovat liittyneet myös 3Com, Lucent, Microsoft ja Motorola.

Bluetooth-yhteyden tiedonsiirtonopeus on 432,6 kbit/s molempiin suuntiin tai 721 kbit/s toiseen ja 57,6 kbit/s toiseen suuntaan [Blu00]. Datan sijaan voidaan välittää maksimissaan kolme äänikanavaa, joiden siirtonopeus on 64 kbit/s kumpaankin suuntaan [Blu99]. Puhe välitetään PCM (Pulse Code Modulation)-koodattuna, Bluetooth tukee sekä eurooppalaista A-lakia että amerikkalaista μ -lakia koodauksessa [Blu99].

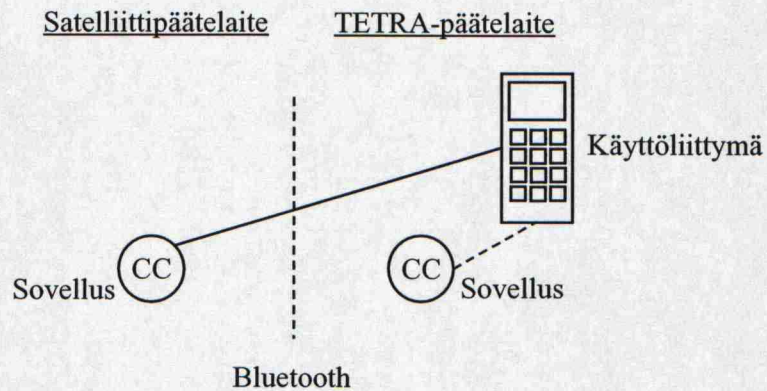
Bluetooth korvaa laitteiden väliset johdot radioyhteydellä, joka toimii 2,4 GHz:n taajuusalueella. Tätä taajuusaluetta ei ole varattu useimmissa maissa mihinkään tiettyyn tarkoitukseen, eivätkä Bluetooth-laitteet tarvitse siksi televiranomaisten tyyppihyväksyntää. Jotta muut taajuusalueella mahdollisesti olevat laitteet eivät häiritsisi Bluetooth-yhteyttä tai päinvastoin, Bluetooth vaihtaa käytettävää taajuutta 1 600 kertaa sekunnissa [Blu00].

Jokaisella Bluetooth-laitteella on oma tunnistenumero, nimi ja PIN (Personal Identification Number) -koodi, jolla varmistetaan käyttäjän identiteetti. Bluetooth-yhteys on salattu ja yhteyden laatu taataan virheenkorjauksen avulla.

Jos satelliittimatkapuhelinjärjestelmän päätelaitteessa ja TETRA-päätelaitteessa on molemmissa Bluetooth-osa, voi niiden välille muodostaa Bluetooth-yhteyden. Tällöin TETRA-päätelaitteesta voidaan muodostaa satelliittijärjestelmän päätelaitteen kautta yhteys satelliittiverkkoon ja käyttää satelliittiverkon palveluita. Eli TETRA-verkon ulkopuolella käyttäjä voi hyödyntää esimerkiksi ajoneuvoon kiinteästi asennettua satelliittipuhelinta, muodostaa siihen yhteyden Bluetoothin avulla TETRA-puhelimestaan ja soittaa satelliittiverkon kautta haluamaansa numeroon.

Bluetoothia käytettäessä voidaan hyödyntää vain TETRA-päätelaitteen käyttöliittymää; käyttöliittymän avulla käyttäjä muodostaa yhteyden satelliittipäätelaitteen kautta satelliittiverkkoon. Tällöin satelliittipäätelaitteen sovellus hoitaa yhteyden muodostamisen yksin, eikä TETRA-päätelaitteessa tarvitse Bluetooth-käyttöä varten olla kuin käyttöliittymä ja Bluetooth-osa. Käyttäjä voi käyttää hyväksi tavallista TETRA-päätelaitetta suoraan ja päätelaitteen käyttöliittymä on sama.

Satelliittipäätelaitteessa ei tarvita välttämättä ollenkaan käyttöliittymää. TETRA-päätelaitteen ja satelliittipäätelaitteen sovelluksien välille ei kannata muodostaa Bluetooth-yhteyttä, sillä sovelluksien välillä olisi tehtävä konvertointi satelliittijärjestelmän mukaisten toimintojen käyttämiseksi.



Kuva 29: TETRA-päätelaitteen käyttöliittymästä on Bluetooth-yhteys satelliittipäätelaitteen sovellukseen.

Bluetooth-yhteys TETRA-päätelaitteen käyttöliittymästä satelliittipäätelaitteen sovellukseen vaatii Bluetooth-tekniikkaan lisäyksenä tuen palveluiden käyttämiseksi suoraan käyttöliittymästä. Bluetoothia kehitetään edelleen ja tuki GSM-palveluiden ohjaamiseksi käyttöliittymästä saattaa tulla Bluetoothiin tulevaisuudessa [Itk00].

Kun käyttäjä hyödyntää satelliittiverkkoa Bluetooth-yhteyden kautta, käytettävissä on satelliittimatkapuhelinjärjestelmän mukaiset palvelut. Palvelut täytyy pystyä välittämään Bluetoothin kautta, mikä saattaa vaatia lisäyksiä päätelaitteisiin.

Bluetoothin kautta voidaan välittää myös dataliikennettä. Koska ICO:n tarjoama datasiirtonopeus tulee olemaan huomattavasti TETRA-verkon datasiirtonopeutta suurempi, voidaan TETRA-päätelaitteesta muodostaa Bluetooth-yhteys satelliittipäätelaitteeseen ja käyttää sen kautta satelliittiverkon datapalvelua. TETRA-käyttäjä voisi dataa siirtäessään käyttää satelliittijärjestelmän tarjoamaa nopeaa datapalvelua myös ollessaan TETRA-verkon peittoalueella. Datapalvelun muodostamisesta satelliittijärjestelmässä vastaa satelliittipäätelaite, jota TETRA-päätelaite ohjaa.

TETRA-verkkoon ei tarvitse tehdä tässä vaihtoehdossa muutoksia, sillä se ei osallistu satelliittipalveluiden välitykseen. Myöskään satelliittiverkkoon ei vaadita muutoksia. TETRA-päätelaitteeseen tarvitaan Bluetooth-osa ja tuki GSM-palveluiden käyttämiseksi käyttöliittymästä. Satelliitti-päätelaitteessa täytyy olla

Bluetooth-osa, mutta käyttöliittymää ei tarvita. Oletuksena vaihtoehdossa on, että Bluetooth-standardiin tulee tuki päätelaitteen palveluiden käyttämiseksi toisen päätelaitteen käyttöliittymästä. Operaattorille käyttäjä näkyy normaalina satelliittiverkon tilaajana, vaikka käyttääkin palveluita TETRA-päätelaitteen kautta. Eli käyttäjällä on satelliittiverkon tilaajaprofiili ja puhelinnumero ja laskut tulevat satelliittiverkon operaattorilta.

7. LIITTYMISVAIHTOEHTOJEN VERTAILU

Tässä kappaleessa kerrotaan, miten edellä esitetyt yhteenliittymisvaihtoehdot eroavat esimerkiksi palveluiden osalta toisistaan ja arvioidaan erojen merkitystä toteutuksen ja loppukäyttäjille näkyvän palvelutason mukaan.

TETRA- ja satelliittimatkapuhelinjärjestelmien yhteenliittymisvaihtoehtoja voidaan vertailla tarjottavien palveluiden määrän, palvelun laadun ja tarvittavien muutoksien perusteella. Vertailun tulokset on koottu taulukoihin, joissa vaihtoehdot on nimetty tilanpuutteen vuoksi esittelykappaleita vastaavilla numeroilla: esimerkiksi yleisen televerkon tyyppinen liitäntä vastaa numeroa 6.1.

TETRA-käyttäjien kannalta tärkeimmät palvelut on koottu alla olevaan taulukkoon. Jos yhteenliittymisvaihtoehdon avulla voidaan käyttäjille tarjota kyseinen palvelu satelliittijärjestelmän välityksellä, kohdalle on merkitty rasti. Muussa tapauksessa kohdalla on viiva. Mikäli tietyllä edellytyksellä tai lisämuutoksella on mahdollista tarjota kyseinen palvelu, on taulukossa numeroviite taulukon alla olevaan selitykseen. Datansiirron nopeus riippuu käytettävästä ilmatierajapinnasta, jonka vuoksi se on joko satelliitti- tai TETRA-järjestelmän toteutuksen mukainen. Globalstar-satelliittimatkapuhelinjärjestelmää käytettäessä nopeus on 9,6 kbit/s, ICO-järjestelmällä nopeus on 144 kbit/s (ks. 4.2.3) ja TETRA-järjestelmässä 28,8 kbit/s.

Taulukko 3: Työssä esiteltujen liittymisvaihtoehtojen mahdollistamat palvelut.

Palvelu	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8
PSTN-tyyppinen yksilöpuhelu	x	x	x	x	x	x	x	x
Suorapuhelu (yksilöpuhelu)	-	-	-	-	x	x	-	-
Vuorosuuntainen / kaksisuuntainen yksilöpuhelu	- / x	- / x	- / x	- / x	x / x	x / x	- / x	- / x
Puheluprioriteetti	1)	1)	1)	2)	x	x	-	1)
Puheenvuorojen prioriteetti	-	-	-	-	x	x	-	-
4 eri lyhytsanomatyyppiä, max. 256 mrk / 8 bit (TETRA)	-	-	-	-	x	x	3)	-
Lyhytsanoma max. 160 mrk / 7 bit (GSM)	x	x	x	x	-	-	-	x
Lyhytsanomien muunnos TETRA:n ja GSM:n välillä	4)	5)	5)	5)	-	-	-	-
PSTN-tyyppisen tilaajan liittäminen ryhmäpuheluun	x	x	x	x	x	x	x	x
TETRA-ryhmäpuhelu	-	-	6)	6)	x	x	3)	6)
GSM-ryhmäpuhelu	7)	7)	7)	2),7)	-	-	-	7)
Ryhmien ohjelmointi ilmateitse	-	-	-	-	x	x	3)	-
Ryhmien yhdistäminen	-	-	-	-	x	x	3)	-
Muuttuva ryhmän alue	-	-	-	-	x	x	3)	-
Datapalvelun nopeus (s = satelliitti-, t = TETRA-järjestelmän mukainen)	s	s	s	s	t	t	s	s
Tavoitettavuus yhdellä puhelinnumerolla	8)	x	x	x	x	x	x	-

- 1) Jos satelliittijärjestelmä tukee GSM:n prioriteettipalvelua.
- 2) Jos TETRA-keskukseen toteutetaan kyseinen GSM-palvelu.
- 3) Jos IP-puheprotokollaan lisätään tuki TETRA-palveluille.
- 4) Jos toteutetaan lyhytsanomakeskus, joka osaa muuntaa lyhytsanomat järjestelmien välillä. Vastaus lyhytsanomaan tulee kuitenkin siihen verkkoon, josta alkuperäinen lyhytsanoma lähetettiin.

- 5) Jos muunnos toteutetaan TETRA-järjestelmässä.
- 6) Jos TETRA-keskukseen toteutetaan muunnokset, TETRA-verkon ryhmä voidaan yhdistää GSM-ryhmäpuheluun.
- 7) Jos satelliittijärjestelmään on toteutettu GSM-ryhmäpuhelupalvelu.
- 8) Älyverkkopalvelun avulla on mahdollista siirtää puhelu käyttäjän toiseen numeroon.

Kaikki vaihtoehdot mahdollistavat yleisen televerkon tyyppisen yksilöpuhelun ja datapalvelun käyttämisen sekä yhden tilaajan lisäämisen TETRA-ryhmäpuheluun. Yleiset lisäpalvelut kuten koputus, puhelusiirrot ja puhelun pito löytyvät kaikista järjestelmistä.

TETRA-ilmarajapintavaihtoehdot (6.5 TETRA satelliittijärjestelmän alimpien protokollakerrosten päällä, 6.6 TETRA-ilmarajapinta satelliittijärjestelmän välityksellä) mahdollistavat kaikkien TETRA-palveluiden tarjoamisen myös satelliittien kautta. GSM-ryhmäpuheluita tai GSM-lyhytsanomia ei voida välittää TETRA-ilmarajapinnan kautta, mutta tämä ei ole kovinkaan oleellista. Satelliittiverkon TETRA-tilaajille riittää, että palvelut ovat toimivat yhteen maanpäällisen TETRA-verkon käyttäjien kanssa; esimerkiksi lyhytsanomien lähettäminen GSM-verkkoon on tällöin harvinaista. TETRA-puheluihin liittyvät palvelut kuten ryhmien ohjelmoiminen päätelaitteisiin ilmaitse ja prioriteetit ovat käytettävissä kuten kaikissa TETRA-verkoissa.

IP-puheprotokolla (6.7) tukee vain yksilöpuhelua. Protokollaa on kuitenkin mahdollista muokata, jolloin voidaan toteuttaa hyvin monentyyppisiä TETRA-palveluita osaksi protokollaa. IP-pakettien siirto soveltuu suoraan myös datan välittämiseen esimerkiksi ICO-järjestelmän 144 kbit/s nopeudella.

A-rajapinnan käyttäminen (6.3 TETRA:n liittäminen maa-aseman GSM-keskukseen tukiasemaohjaimena, 6.4 TETRA:n liittäminen satelliittiverkkoon maa-aseman GSM-keskuksena) tuo palveluvalikoimaan GSM-tyyppiset palvelut kuten GSM-lyhytsanoman ja satelliittijärjestelmän toteutuksesta riippuen puheluprioriteetit ja GSM-ryhmäpuhelun. Vaihtoehdossa, jossa TETRA-keskus on satelliittijärjestelmän maa-aseman GSM-keskuksena (6.4), täytyy prioriteettipalvelu ja tuki GSM-ryhmäpuhelulle toteuttaa satelliittijärjestelmän lisäksi myös maa-aseman TETRA-keskukseen. TETRA-verkon ryhmä on yhdistettävissä GSM-ryhmäpuheluun, jos TETRA-keskus tekee tarvittavat muunnokset. A-rajapintaa käytettäessä ei tarvita soitonsiirtoja vaan puhelut reitittyvät aina siihen verkkoon, johon käyttäjä on rekisteröitynyt.

Yleisen televerkon tyyppisen liitännän avulla (6.1) voidaan satelliittiverkkoon rekisteröityneille tilaajille tarjota satelliittijärjestelmän mukaiset palvelut. Satelliitti- ja TETRA-verkkojen välillä on käytettävissä kuitenkin vain ISDN-liitännän mukai-

set palvelut. Vaihde- ja MAP-liitännät (6.2) mahdollistavat samojen GSM-palveluiden tarjoamisen satelliittiverkon käyttäjille kuin A-rajapinta (6.3, 6.4) eli esimerkiksi GSM-lyhytsanoman ja satelliittijärjestelmän toteutuksesta riippuen puheluprioriteetit ja GSM-ryhmäpuhelun. Yleisen televerkon tyyppisellä liitännällä (6.1) ei kuitenkaan voida toteuttaa täysin GSM- ja TETRA-lyhytsanomien välistä muunnosta: vastaus lyhytsanomaan tulee sen verkon numeroon, josta alkuperäinen lyhytsanoma lähetettiin. Eli jos käyttäjä lähettää lyhytsanoman TETRA-verkosta ja siirtyy tämän jälkeen satelliittiverkkoon, vastaus lyhytsanomaan jää TETRA-verkkoon ja lähetetään käyttäjälle vasta, kun hän seuraavan kerran rekisteröityy TETRA-verkkoon. Yleisen televerkon tyyppisen liitännän (6.1) tärkein ero esimerkiksi A-rajapintaa käyttäviin vaihtoehtoihin on se, että käyttäjällä on eri puhelinnumero ja tilaajaprofiili satelliitti- ja TETRA-verkoissa.

Bluetooth (6.8) on vain TETRA- ja satelliittipäätelaitteiden välinen radioyhteys. Satelliittipäätelaite muodostaa yhteyden satelliittiverkkoon, jolloin käyttäjä näkyy verkkoon tavallisena satelliittijärjestelmän käyttäjänä. Palvelut ovat täysin satelliittiverkon mukaisia, mikäli Bluetooth-yhteys tukee niiden käyttämistä toisen päätelaitteen käyttöliittymästä.

Taulukko 4: Yhteenliittymisvaihtoehtojen tarjoamien puhepalveluiden laatu.

Palvelun laatu	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8
Puhelunmuodostuksen nopeus	> 3 s	> 3 s	> 3 s	> 3 s	< 1 s	< 1 s	> 3 s	> 3 s
Puheen transkoodaus (heikentää laatua)	x	x	x	x	-	-	-	x
Puheen viive							suuri	

Kun välitetään merkinantosanomia satelliittien kautta, pidempi viive hidastaa puhelunmuodostusta maanpäällisiin järjestelmiin verrattuna. TETRA-ilmarajapintavaihtoehtoissa (6.5, 6.6) puhelunmuodostus on huomattavasti muita vaihtoehtoja nopeampi, koska TETRA-standardissa puhelunmuodostus on optimoitu viranomaisten tiukat vaatimukset huomioiden. TETRA-ilmarajapintavaihtoehtoissa (6.5, 6.6) ja IP-pakettien välityksessä (6.7) käytetään TETRA-puhekoodekia, mutta muissa vaihtoehtoissa täytyy puhe muuntaa koodekista toiseen eri transkoodata. Tämä heikentää puheen laatua. Puhepalveluiden käyttäjän havaitsema viive on muita vaihtoehtoja pidempi IP-pakettien välityksessä (6.7), sillä paketteja välitettäessä tarvitaan puskuri. Puskurin avulla järjestetään väärässä järjestyksessä tai epätasaisin välein saapuneet paketit.

Taulukko 5: Yhteenliittymisvaihtoehtojen vertailu järjestelmiin tarvittavien muutosten työmäärien osalta.

Tarvittavat muutokset	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8
TETRA-verkko	0	3	2	4	4	3	3	0
Satelliittiverkko	0	0	0	0	3	3	0	0
Päätelaite	3	3	3	3	4	2	3	2
Verkko-operaattorit	2	1	1	0	0	0	1	0
Muut	(2)	0	0	0	0	0	(3)	0

(0 = ei tarvita muutoksia, 1 = pieni työ, 2 = kohtalainen työ, 3 = suuri työ, 4 = erittäin suuri työ)

Yllä olevaan taulukkoon on koottu arviot siitä, kuinka suuria muutoksia täytyy tehdä järjestelmien eri osiin kunkin liittymisvaihtoehdon toteuttamiseksi. Erittäin suuri työmäärä on merkitty numerolla 4 ja numero 0 tarkoittaa, ettei mitään muutoksia tarvita. Kunkin liittymisvaihtoehdon esittelyssä kappaleessa 6 on selitetty osa-alueittain, mitä tarvittavat muutokset ovat.

TETRA:n liittäminen satelliittijärjestelmän maa-asemaan GSM-keskuksena (6.4) vaatii kaiken GSM-keskuksen toiminnallisuuden lisäämistä TETRA-keskukseen, mikä tekee vaihtoehdosta erittäin työläänsä toteuttaa. TETRA-ilmarajapinnan muuttaminen satelliittijärjestelmän alimpiin protokollakerrokseen (6.5) edellyttää TETRA-tukiaseman ja -keskuksen merkinantoprotokollien muokkaamista sekä uuden rajapinnan toteuttamista maa-asemaa päin. Tämäkin vaihtoehto on TETRA-verkon toteutuksen kannalta hyvin suuritöinen.

TETRA-ilmarajapinnan välittäminen satelliittijärjestelmän kautta (6.6) vaatii vain pieniä muutoksia merkinantoprotokollien käsittelyyn, mutta liityntä maa-aseman tukiasemayhdyskäytävään on työmäärältään suuri. Jos satelliittijärjestelmän mukaisia palveluita halutaan käyttää verkkojen välillä vaihde- ja MAP-liitäntöjen kautta (6.2), pitää TETRA-keskukseen toteuttaa nämä palvelut, mikä on työlästä. IP-puhepalveluita välitettäessä GPRS-verkon avulla (6.7) TETRA-keskukseen täytyy toteuttaa Gn-rajapinta ja SGSN-verkkoelementin toiminnallisuus. Lisäksi TETRA-verkkoon on lisättävä kotirekisteri (HLR) sekä GGSN- ja BG-verkko-elementit. TETRA-verkon kannalta vaihtoehto on arvioitu suureksi työksi.

Satelliittiverkkoon tarvitaan TETRA-ilmarajapintavaihtoehdoissa (6.5, 6.6) suuria muutoksia maa-asemaan ja esimerkiksi tukiasemayhdyskäytävän suunnittelun ja toteutuksen (6.6). Suurin päätelaitteeseen tehtävä työ on satelliitti- ja TETRA-

järjestelmien merkinantoprotokolla-arkkitehtuurin yhdistäminen (6.5), mutta myös kaksitoimipuhelimen toteuttaminen on vaikeaa.

Verkko-operaattoreille aiheutuu työtä, kun asiakkailta täytyy yleisen televerkon tyyppisen liitännän tapauksessa (6.1) olla kaksi erillistä tilaajaprofiilia ja näitä tilaajatietoja täytyy luoda sekä päivittää molempiin verkkoihin. Laskutustiedot joudutaan myös keräämään erikseen molemmista verkoista ja asiakas saa laskun kummaltakin verkko-operaattorilta. Kun TETRA-keskus liitetään tukiasemanohjaimena satelliittiverkon maa-aseman GSM-keskukseen (6.3) tai vaihde- ja MAP-liitântöjen kautta maa-asemaan, TETRA-verkon sisäiset puhelut laskuttaa TETRA-verkon operaattori, muuten laskutuksesta vastaa satelliittiverkon operaattori. Älyverkko-palvelun avulla voidaan toteuttaa soitonsiirrot verkkojen välillä yleisen televerkon tyyppisen liitännän (6.1), mutta tämä ei ole edellytys vaihtoehdon toteutukselle. Älyverkkopalvelun lisääminen toteutukseen on arvioitu kohtalaiseksi työksi taulukon kohdassa muut. IP-puheprotokollaan mahdollisesti lisättävä tuki tietyille TETRA-palveluille on suuri työ, mikä on esitetty myös taulukon kohdassa muut.

Eniten TETRA-palveluita voidaan tarjota TETRA-ilmarajapintavaihtoehtojen (6.5, 6.6) avulla. Varsinkin järjestelmien merkinantoprotokollien yhdistäminen (6.5) on työläs toteuttaa, joten näistä vaihtoehdoista on järkevämpi välittää koko TETRA-ilmarajapinta satelliittien kautta (6.6). Halutut TETRA-palvelut voidaan toteuttaa muokkaamalla IP-puheprotokollaa (6.7), jolloin kokonaisuudessaan tarvittavat muutokset ovat ehkä yhtä suuria kuin TETRA-ilmarajapinnan välittämisessä (6.6).

A-rajapintaa hyödyntävät vaihtoehdot (6.3, 6.4) tuovat käyttäjille melko monipuolisen palveluvalikoiman. Koko GSM-keskuksen toiminnallisuuden lisääminen TETRA-keskukseen (6.4) tekee vaihtoehdon toteuttamisen käytännössä hankalaksi, joten kannattaa hyödyntää maa-asemalla sijaitsevan GSM-keskuksen toimintoja ja toteuttaa ennemmin TETRA-keskukseen tukiasemaohjaimen puoli A-rajapinnasta (6.3).

Yleisen televerkon tyyppinen liitântä (6.1) ei vaadi verkkojen puolesta muutoksia, mutta MAP-protokollan toteuttaminen TETRA-keskukseen (6.2) helpottaisi lyhytsanomien välitystä järjestelmien välillä ja takaisi esimerkiksi, että vastaukset lyhytsanomiin ohjataan aina käyttäjän sijaintiverkkoon. Lisäksi MAP-protokollan avulla käyttäjä on aina tavoitettavissa yhdestä puhelinnumerosta ja tiettyjä GSM-tyyppisiä palveluita voidaan tarjota myös verkkojen välillä. Vaihtoehdot (6.1, 6.2) vaativat silti melko suuritoisen kaksitoimipuhelimen suunnittelun.

Bluetooth-yhteys (6.8) ei ole varsinaisesti verkkojen yhteenliittämisen kokonaisratkaisu, vaan sen avulla voidaan TETRA-päätelaitteella käyttää satelliittijärjestelmän palveluita. Jos verkot halutaan liittää yhteen, täytyy se toteuttaa jollain muulla tavalla. Bluetooth-yhteys on hyvä vaihtoehto esimerkiksi kaksitoimipuhelimen toteutukselle.

8. JOHTOPÄÄTÖKSET

Satelliittimatkapuhelinjärjestelmiä voidaan hyödyntää TETRA-verkon tukena monella eri tavalla. Järjestelmien yhteenliittymisvaihtoehdot eroavat toisistaan tarjottavien palveluiden ja vaadittavan työmäärän suhteen. Jos halutaan laaja palveluvalikoima, täytyy järjestelmiin tehdä suuria muutoksia. Mikäli tärkeintä on taata vain yhteys esimerkiksi päivystäjään myös TETRA-verkon peittoalueen ulkopuolelta, riittää yksinkertaisemman ja helpomman liitännän toteuttaminen. Alla on esitelty lupaavimmat löydettyistä yhteistoimintavaihtoehdoista.

Satelliittijärjestelmä tulee osaksi TETRA-verkkoa, jos TETRA-ilmarajapinta välitetään satelliittien kautta (kappale 6.6). Tällöin kaikki tällä hetkellä toteutetut ja myös tulevaisuudessa toteutettavat TETRA-palvelut ovat käytävissä kaikkialla maailmassa. Toteuttaminen vaatii suuria muutoksia TETRA-järjestelmän lisäksi satelliittijärjestelmään. Edellytyksenä toteuttamiselle on se, että TETRA-käyttäjäorganisaatiot tarvitsevat nimenomaan TETRA-palveluita myös TETRA-verkon ulkopuolella ja ovat valmiita maksamaan palveluista enemmän kuin maanpäällisessä TETRA-verkossa. Koska viranomaisille on kustannuksia tärkeämpää laaja palveluvalikoima, tämä vaihtoehto voisi soveltua heidän käyttöönsä.

Tulevaisuudessa datansiirto on yhä tärkeämpää ja myös puhe saatetaan siirtää datapaketteina koko verkossa. Jos TETRA-ryhmäpuhelun ja muiden TETRA-palveluiden tuki lisätään IP-puheprotokollaan, voidaan satelliittimatkapuhelinjärjestelmän IP-pakettipalvelun avulla välittää TETRA-palveluita (kappale 6.7). Päätelaitte on satelliitti- ja TETRA-järjestelmissä toimiva kaksitoimipuhelin, johon toteutetaan lisäksi muokattu IP-puheprotokolla ja käyttöliittymätuki halutuille palveluille. Vaihtoehdon toteuttaminen vaatii suuret muutokset, mutta tarjoaa laajan palveluvalikoiman. Kuten edellä, tämäkin vaihtoehto voisi soveltua viranomaissegmentille.

TETRA-keskuksen liittäminen satelliittijärjestelmän maa-aseman GSM-keskukseen tukiasemaohjaimena A-rajapinnan kautta (kappale 6.3) mahdollistaa GSM-tyyppisten palveluiden välittämisen. Suppeampi palveluvalikoima voisi riittää siviiliikäyttäjien tarpeisiin ja vaihtoehdon toteutus ei ole niin työlästä kuin edellisissä vaihtoehdoissa. TETRA-käyttäjä voi kaksitoimipäätelaitteella välittää GSM-lyhytsanomiamia ja osallistua GSM-ryhmäpuheluun, jos se on toteutettu satelliittijärjestelmään. Käyttäjälle tulevat puhelut seuraavat automaattisesti käyttäjää tämän vaihtaessa esimerkiksi TETRA-verkosta satelliittiverkkoon verkkojen välisen liitännän ansiosta.

Vaihde- ja MAP-liitäntöjen avulla (kappale 6.2) käytettävissä ovat satelliittijärjestelmään toteutetut GSM-tyyppiset palvelut satelliittiverkon sisällä, mutta palveluiden toteuttaminen verkkojen välillä vaatii palveluiden lisäämistä TETRA-keskukseen, mikä on suuri työ. Edellä esitetyssä A-rajapintavaihtoehdossa käytetään suoraan GSM-keskuksen tarjoamia palveluita.

Bluetooth (kappale 6.8) on radioyhteys päätelaitteiden välillä. Bluetoothin avulla voidaan TETRA-päätelaitteella muodostaa yhteys satelliittipäätelaitteen kautta satelliittiverkkoon. Tämä vaihtoehto voisi korvata kaksitoimipuhelimen toteutuksen, mutta TETRA- ja satelliittiverkot täytyy liittää yhteen jollain muulla tavalla – Bluetooth ei tarjoa siihen ratkaisua.

Satelliittimatkapuhelinjärjestelmien tulevaisuus on vielä epävarma. Seuraavat pari vuotta näyttävät, onko järjestelmillä riittävästi käyttäjiä, jotta kalliista investoinneista huolimatta järjestelmät tuottaisivat voittoa. ICO-järjestelmän uudet suunnitelmat keskittyä enemmän datapalveluiden tarjoamiseen puhepalveluiden sijaan vaikuttavat nykyisen kehityksen valossa lupaavilta ja saattaa olla, että myös Globalstar-järjestelmää kehitetään jatkossa samaan suuntaan. ICO-järjestelmään suunniteltu datansiirtonopeus 144 kbit/s on huomattavasti tämänhetkistä TETRA-järjestelmän siirtonopeutta suurempi. ICO-järjestelmää voitaisiin hyödyntää pelkästään datapalveluna myös TETRA-verkon peittoalueella.

Koska yksityiskohtaisia tietoja satelliittimatkapuhelinjärjestelmistä ei ollut saatavilla, yhteistoimintamahdollisuuksia arvioitiin vain järjestelmätasolla. Mikäli TETRA-järjestelmän liittymistä satelliittimatkapuhelinjärjestelmään halutaan tutkia tarkemmin, pitäisi selvittää järjestelmien väliset erot esimerkiksi ilmarajapinnan, puhelunohjauksen ja tilaajien sijainnin hallinnan osalta. TETRA-palveluiden tuen lisääminen IP-puheprotokollaan kaipaa jatkotutkimusta. Myös Bluetooth-radioyhteyden kehityksen seuraaminen on tärkeää TETRA- ja satelliittimatkapuhelinjärjestelmien päätelaitteiden yhteistoiminnan kannalta.

9. LÄHDELUETTELO

- [Aht99] A. Ahtiainen, I. Kangas, *Telecom Signalling Protocols and Software, Lecture Notes*, Teknillisen korkeakoulu, Tietoliikenneohjelmistojen ja multimedian laboratorio, 312 s., 1999.
- [Ano00a] Anon., *The Iridium Dream Ends With Bankruptcy Court Approval of De-orbit Plan*, Satellite Today, Vol. 3, No. 5, 20.3.2000.
- [Ano00b] Anon., *ING Baring Loses Confidence in Globalstar, Cuts Rating to Hold From Strong Buy*, Satellite Today, Vol. 3, No. 5, 27.3.2000.
- [Ano00c] Anon., *ICO Will Restructure Into A Voice/Data Service To Serve Users Indoors and Outdoors*, Satellite Today, Vol. 3, No. 3, 29.2.2000.
- [Ano00d] Anon., *ICO Will Be Recreated Into A Voice/Data Service*, Satellite News, Vol. 23, No. 1, 6.3.2000.
- [Ast00] A. Astikainen, *Konkurssiin menneet Iridium-satelliitit toimivat yhä*, Helsingin Sanomat, s. D1, 30.3.2000.
- [Blo97] P. Blomberg, *The pan-European trunking standard TETRA – current status, perspectives and technology*, KKRR, Poznan, <http://www.tetramou.com/Tech/>, 26.-29.5.1997.
- [Blo99] P. Blomberg, *TETRA – State-of-the-Art Global PMR Standard*, ICT SI, Moskova, <http://www.tetramou.com/Tech/>, 25.11.1999.
- [Blu99] Bluetooth Special Interest Group, *Specification of the Bluetooth System*, Document 1.C.47, Version 1.0 B, 1 082 s., 1999.
- [Blu00] Bluetooth Special Interest Group, *The Official Bluetooth SIG Website*, <http://www.bluetooth.com/>, 2000.
- [Cai97] J. Cai, D. Goodman, *General Packet Radio Service in GSM*, IEEE Communications Magazine, Vol. 35, Iss. 10, October 1997.
- [Ced99] L. Cederquist, *Ericsson världs bäst på markstationer*, Ericsson Kontakten, http://www.ericsson.com/SE/kontakten/kont11_99/k11_12.html, 1999.
- [Eri99] Ericsson Corporate, *Ericsson GSM Pro*, <http://www.ericsson.com/gsmpro/press5.shtml>, 1999.

- [Ets93] ETSI, *Satellite Earth Stations (SES), Possible European standardisation of certain aspects of Satellite Personal Communications Networks (S-PCN), Phase 1 Report*, Technical Report ETR 093, 178 s., 1993.
- [Ets96a] ETSI, *Radio Equipment and Systems (RES), Trans-European Trunked Radio (TETRA), Voice plus Data (V+D), Part 2: Air Interface (AI)*, Standard ETS 300 392-2, 583 s., 1996.
- [Ets96b] ETSI, *Liaison Statement to ETSI SMG on GSM/MSS Interworking*, TC SMG Tdoc 461/96, 5 s., 1996.
- [Ets97] ETSI, *Terrestrial Trunked Radio (TETRA), Voice plus Data (V+D), Designer's guide, Part 1: Overview, technical description and radio aspects*, Technical Report ETR 300-1, 84 s., 1997.
- [Ets98a] ETSI, *Terrestrial Trunked Radio (TETRA), Security Aspects, Subscriber Identity Module to Mobile Equipment (SIM-ME) interface*, Standard ETS 300 812, 137 s., 1998.
- [Ets98b] ETSI, *Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Voice Group Call Service (VGCS); Stage 2 (GSM 03.68 version 7.0.0 Release 1998)*, Technical Specification TS 100 933, 67 s., 1998.
- [Ets98c] ETSI, *Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); General Packet Radio Service (GPRS); Service description; Stage 2 (GSM 03.60 version 7.1.0 Release 1998)*, Standard EN 301 344, 115 s., 1998.
- [Ets00] ETSI, *TETRA Homepage*, <http://www.etsi.org/tetra/>, 2000.
- [Eva98] J. Evans, *Satellite Systems for Personal Communications*, Proceedings of the IEEE, Vol. 86, No. 7, s. 1325 - 1341, July 1998.
- [Glo95] Globalstar L.P., *Description of the Globalstar System*, 82 s., 1995.
- [Glo99] Globalstar L.P., *Globalstar Satellite Phone GSP 1600*, 2 s., 1999.
- [Glo00] Globalstar L.P., *Globalstar – Homepage*, <http://www.globalstar.com/>, 2000.
- [Gra00] D. Gray, *TETRA Today and Tomorrow*, <http://www.tetramou.com/Market/>, 2000.
- [Gsm00] GSM Association, *Welcome To GSM*, <http://www.gsmworld.com/>, 2000.
- [Hug00] Hughes Space and Communications, *ICO Global Mobile Satellite System*, <http://www.hughespace.com/factsheets/601/ico/ico.html>, 2000.

- [Ico97] ICO Global Communications, *Annual Report*, 48 s., 1997.
- [Ico98] ICO Global Communications, *Submission of Candidate Satellite Radio Transmission Technology for IMT-2000 Radio Interface*, 44 s., 1998.
- [Ico00] ICO Global Communications, *Welcome to ICO Global Communications*, <http://www.ico.com/>, 2000.
- [Iri00] Iridium LLC, *Welcome to Iridium*, <http://www.iridium.com/>, 2000.
- [Itk00] J. Itkonen, Senior Research Engineer, Nokia Research Center, keskustelut keväällä 2000.
- [Jää97] K. Jääskeläinen, *TETRA Is Here*, <http://www.espoo.com/jutut/tetra1.html>, 3.3.1997.
- [Lii97] A. Liimatta, *TETRA System Course*, Nokia Customer Services Documentation, 294 s., 1997.
- [Luk99] J. Lukkari, *Satelliittipuhelinta ei kannata vielä haudata*, Tekniikka & Talous, s. 22 - 23, 21.10.1999.
- [Mat99] J. Mattila, *ICO-järjestelmän satelliittisegmentti*, Avaruustekniikan erikoistyö, 20 s., 10.8.1999.
- [Meh97] A. Mehrotra, *GSM System Engineering*, Artech House Inc., 450 s., 1997.
- [Nok97] Nokia Networks, *Technical picture bank*, Intranet, 1997.
- [Nok00a] Nokia Corporation, *Nokia TETRA System*, http://www.nokia.com/networks/pmr/tetra_system/, 2000.
- [Nok00b] Nokia Corporation, *Nokia 6110 Technical Specifications*, <http://www.nokia.com/phones/6110/specs.html>, 2000.
- [Ovu96] Ovum Ltd., *LEOs, MEOs and GEOs, The Market Opportunity for Mobile Satellite Services*, Ovum Reports, 1996.
- [Pes98] T. Pesonen, *Number Conversion Model for External TETRA Individual Calls*, diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, Sähkötekniikan osasto, 49 s., 1998.
- [Pin99] R. Pinter, *TETRA Positioning*, TETRA World Congress, Amsterdam, <http://www.tetramou.com/Tech/>, 1999.
- [Pro89] J. Proakis, *Digital Communications*, McGraw-Hill, 923 s., 1989.

- [Ric99] M. Richharia, *Satellite Communication System*, Macmillan Press, 484 s., 1999.
- [Ruo99] A. Ruohonen, *Radiolinja uskoo pohjoismaiseen taivaspuhelimeen*, Tietoviikko, s. 4 - 5, 17.9.1999.
- [Sel00] P. de Selding, *ICO System Cost To Rise 69 Persent*, Space News, s. 1 ja 18, 13.3.2000.
- [Ste92] R. Steele, *Mobile Radio Communications*, Pentech Press, 779 s., 1992.
- [Tet00] TETRA MoU Association, *TETRA MoU Web*, <http://www.tetramou.com/>, 2000.
- [Ver98] I. Verchère, *Watching Brief*, ICO Global Communications Magazine, s. 13 - 14, Winter 1998.
- [Vil99] N. Viljanen, *A Multiprotocol IP Telephony Terminal*, diplomityö, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Materiaalitekniikan osasto, 72 s., 1999.
- [Woo00] L. Wood, *Lloyd's satellite constellations*, <http://www.ee.surrey.ac.uk/Personal/L.Wood/constellations/>, 2000.